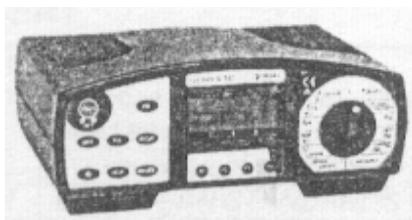
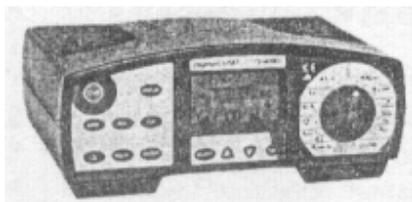


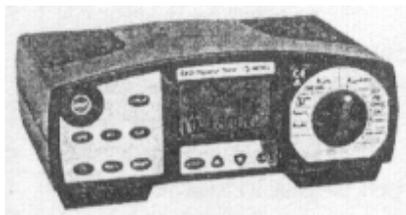
Высокопрофессиональные
приборы



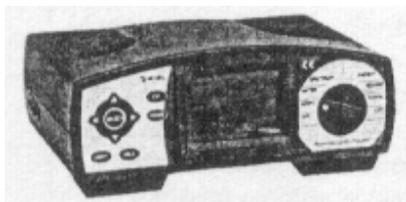
Eurotest 61557



Instaltest 61557



Earth-Insulation Tester
Тестер заземления и изоляции



Power Harmonics Analyzer
Анализатор гармоник в сети



Измерения в электроустановках в теории и на практике

Код № 20 750 664



СОДЕРЖАНИЕ		СТРАНИЦА
1.	ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1.1.	Назначение руководства «Измерения в электроустановках в теории и на практике»	5
1.2.	Представление компании METREL d.d. и ее программа	6
2.	ЕВРОПЕЙСКИЕ СТАНДАРТЫ НА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ	8
3.	ЕВРОПЕЙСКИЕ СТАНДАРТЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ	12
4.	ОБЩИЕ КОММЕНТАРИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	13
5.	ИЗМЕРЕНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ В ЗДАНИЯХ	17
5.1.	Сопротивление изоляции	18
5.1.1.	Измерение сопротивления изоляции между проводниками	20
5.1.2.	Измерение сопротивления непроводящих стен и полов	21
5.1.3.	Измерение сопротивления полупроводящих полов	22
5.1.4.	Измерение сопротивления изоляции кабелей, проложенных в грунте – 30 ГОм	23
5.2.	Проверка на обрыв защитных проводников, проводников основного и дополнительного уравнивания и заземляющих проводников	24
5.3.	Дополнительное уравнивание	27
	Измерение напряжения прикосновения при токе короткого замыкания относительно сторонних проводящих частей	
5.4.	Малые сопротивления	30
5.5.	Сопротивление заземления	31
5.5.1.	Измерение простого стержневого заземляющего электрода	36
5.5.2.	Измерение простого ленточного заземляющего электрода	37
5.5.3.	Измерение сложной заземляющей системы с несколькими параллельными электродами	37
	Измерение полного сопротивления заземления	38
	а) Классический четырехпроводный, двухэлектродный метод	38
	б) Бесстержневой метод, использующий двое испытательных клещей	39
	Измерение отдельного сопротивления заземления	40
	а) Измерение с механическим разъединением тестируемого отдельного электрода заземления и использованием четырехпроводного, двухэлектродный метода	40
	б) Измерение с механическим разъединением тестируемого отдельного электрода заземления и использованием четырехпроводного, двухточечного метода	41
	с) Измерение, использующее стандартный четырехпроводный, двухэлектродный тестовый метод в сочетании с испытательными клещами	42
	д) Безэлектродное измерение, использующее двое испытательных клещей	43
5.6.	Удельное сопротивление заземления (удельное сопротивление)	46
5.7.	Соединение защитного проводника PE в основном соединителе	49
5.8.	Устройства RCD защиты	50
5.8.1.	Контактная разность потенциалов	53
	а) Измерение контактной разности потенциалов без использования вспомогательного испытательного электрода	53
	б) Измерение контактной разности потенциалов с использованием вспомогательного испытательного электрода	55
5.8.2.	Время размыкания	56
5.8.3.	Ток размыкания	57
5.8.4.	Сопротивление заземления (внешний источник испытательного напряжения)	58
	а) Измерение сопротивления петли короткого замыкания без использования вспомогательного испытательного электрода	58
	б) Измерение сопротивления заземления с использованием вспомогательного испытательного электрода	60
5.9.	Импеданс петли при K3 и прогнозируемый ток короткого замыкания	61
5.10.	Измерение импеданса линии и прогнозируемый ток короткого замыкания	65
5.10.1.	Импеданс линии между жимами фазы и нейтрали	65
5.10.2.	Импеданс линии между двумя фазными проводниками	66
5.11.	Сопротивления петли N-PE	68
5.11.1.	Измерение сопротивления петли N-PE в TN -системе	69
5.11.2.	Измерение сопротивления петли N-PE в TT -системе	69
5.11.3.	Измерение сопротивления петли N-PE в TT -системе	70

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.12.	Последовательность фаз	71
5.13.	Измерение напряжения, частоты и силы тока	72
5.13.1.	Измерение напряжения и, частоты	72
5.13.2.	Измерение силы тока	72
5.14.	Варисторные приборы для защиты от перенапряжений	74
5.15.	Поиск неисправностей в электрооборудовании	76
	а)Нахождение элемента защиты в оборудовании при основном напряжении	76
	б)Нахождение элемента защиты в оборудовании при снятом напряжении	77
	с) Локализация места короткого замыкания между фазой и проводом нейтрали	78
	д) Локализация места короткого замыкания между фазой и защитным проводником	79
	е) Локализация места нарушения цепи тока (обрыва проводника)	79
5.16.	Мощность	81
5.16.1.	Измерение мощности в однофазной системе	81
5.16.2.	Измерение мощности в трехфазной системе	82
	Измерение мощности в четырехпроводной системе	83
	а) Метод трехфазного ваттметра активной мощности	83
	б) Метод однофазного ваттметра активной мощности	84
	Измерение мощности в трехпроводной системе	86
	а) Метод двух однофазных ваттметров активной мощности (схема Арона)	86
	б) Метод для симметричных трехфазных систем питания	88
	с) Метод с одним ваттметром активной мощности для несимметричных нагрузок	89
5.17.	Энергия	92
5.18	Анализ нелинейных искажений	93
	Полезные уравнения	96
6.	ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОИЗВЕДЕННОГО ФИРМОЙ METREL D.D.	100
7.	ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ, ПРОИЗВЕДЕННЫХ ФИРМОЙ METREL D.D.	110
7.1.	Технические характеристики Eurotest 61557	111
7.2.	Технические характеристики Instaltest 61557	116
7.3.	Технические характеристики Earth-Insulation Tester (Тестер заземления и изоляции)	119
	Сводная таблица основных параметров приборов, произведенных фирмой METREL d.d.	123

1. ПРЕДИСЛОВИЕ

1.1. НАЗНАЧЕНИЕ РУКОВОДСТВА «Измерения в электроустановках в теории и на практике»

Руководство предназначено для инженеров-электриков, которые имеют дело с измерениями в новых или модернизированных низковольтных электроустановках в зданиях или с обслуживанием таких установок. В руководстве пользователь может найти объяснение многих практических проблем, возникающих при выполнении измерений, и наставления как решать эти проблемы, используя измерительные приборы, произведенные фирмой METREL d.d.

Главные цели руководства:

- 1. Представить новый Европейский стандарт 61557 так, чтобы объяснить безопасность инструментов измерения для выполняющих измерения в низковольтных установках. Этот стандарт обязателен для государств-членов Европейского Союза (ЕС) начиная с 01.12 1997.*
- 2. Описать выполнение характерных измерений в электрических установках. Освещены обязательные и необязательные измерения, которые помогают устранить ошибки, обслуживать установку, подсоединять нагрузку и т.п. Для каждого определенного типа измерений продемонстрировать принцип измерения и практическое выполнение измерения при различных конфигурациях установок. Кроме того, включены другие параметры измерений, различные предупреждения и граничные значения измеряемых параметров. Все измерения сопровождаются иллюстрациями.*
- 3. Описать технологический подход к выполнению измерений в испытываемой цепи или приборе. Мы полагаем, что предлагаемая информация поможет пользователю сократить время, которое необходимо для подготовки и выполнения самих измерений и регистрацию результатов измерений.*
- 4. Дать совет всем потенциальным покупателям и пользователям измерительных приборов для того, чтобы направить их к правильному выбору измерительного оборудования.*

В конце этого руководства представлено полное семейство новейших измерительных приборов, произведенных фирмой METREL d.d. для испытаний безопасности электрических установок.

1.2. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ФИРМЫ METREL d.d. И ЕЕ ПРОГРАММА



Измерения в электроустановках в теории и на практике

Фабрика имеет 42-летний опыт в разработке и производстве измерительного и регулировочного оборудования. Самая последняя программа производства – мультитестеры для испытаний на безопасность низковольтных электрических установок, систем заземления и электрических бытовых приборов.

На фабрике трудятся 240 рабочих, половина из них - по программе измерений, 17 инженеров заняты в отделе исследований и разработки.

Один из лучших аспектов METREL – скорость, с которой она завершает разрабатываемые проекты. Как правило, требуется до 12 месяцев от идеи до выпуска первой серии.

Что касается конструирования испытательного оборудования, то METREL взаимодействует с университетом в Любляне и Министерством науки и техники. Результаты нашей деятельности в области исследований и разработки отражены в многочисленных патентах, зарегистрированных как внутри нашей страны, так и в странах ЕС.

Новые изделия, произведенные METREL, выпускаются на рынок каждый год, в 1999 будут представлены 6 новых измерительных приборов с поточной линии. Наша лаборатория калибровки проверяет каждое изделие после завершения процесса производства и прилагает к каждому изделию соответствующие сертификаты калибровки.

METREL уделяет огромное внимание отношениям с их партнерами и качеству ее собственных изделий. Также была проведена сертификация по ISO 9001.

Создана дистрибьюторская сеть в большинстве стран мира.

Это руководство было написано, чтобы дать конечным пользователям лучше понимание проблем, связанных с измерениями в низковольтных электрических установках.

METREL выпустил демонстрационную установку, которая моделирует практическую электрическую установку. Эта установка предназначена главным образом для дистрибьюторов измерительных приборов для демонстрации потенциальным покупателям проведения измерений в установках.

METREL также использует эту установку на семинарах, которые организуются для обучения/подготовки пользователей.

2. ЕВРОПЕЙСКИЕ СТАНДАРТЫ НА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

С целью гарантирования условий безопасного использования электрической энергии, безопасности электрических установок, испытаний на безопасность и обслуживания, много усилий было приложено при подготовке соответствующих стандартов.

Весьма частыми во время подготовки единого стандарта были изменения к существующим стандартам, предлагаемые производителями и пользователями измерительного оборудования.

Хотя основной стандарт по безопасности IEC 1010-1 и позже согласованный европейский стандарт 61010 и обращаются к общей безопасности приборов для электрических измерений, но точка зрения по безопасности для использования этих приборов в низковольтных установках была ошибочной.

Для гарантированного использования унифицированных принципов в измерительных приборах, предназначенных для измерений в электрических установках до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока IEC и CENELEC подготовили и выпустили семейство стандартов 61557, которые в основном следуют за немецким семейством стандартов DIN VDE 0413. EN 61557 принес важное решение в этой области работы.

Для национальных комитетов отдельных стран Европейского Союза новые стандарты имеют значение следующим образом:

- EN61557 станет Европейским стандартом, и любой национальный стандарт, который не согласуется или противоречит EN61557, будет выведен из употребления.

Введение нового стандарта ознаменовало различные изменения в подходах к конструированию и производству измерительных приборов. В соответствии с соглашением и из-за того, что каждое изменение требует определенного времени для ввода в действие, было решено ввести изменения с первого декабря 1997.

METREL также учел требования нового стандарта при разработке последнего семейства измерительных приборов.

Стандарт 61557 разделен на несколько частей; каждая часть имеет дело с определенным измерением по безопасности в электрических установках в соответствии со следующим:

- EN 61557 Часть 2 - Сопротивление Изоляции
- EN 61557 Часть 3 – Импеданс петли при неисправности
- EN 61557 Часть 4 - Непрерывность соединений заземления и эквипотенциальных связей
- EN 61557 Часть 5 – Сопротивление заземления
- EN 61557 Часть 6 - Устройства дифференциального тока (RCD) в TT и TN системах заземления
- EN 61557 Часть 7 - Последовательность фаз
- EN 61557 Часть 8 - Устройства контроля изоляции в IT системах заземления

Рассмотрим основные требования отдельных частей стандарта EN 61557, касающиеся проведения измерений и конструкции измерительных приборов.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

EN 61557 Часть 2 - Сопротивление изоляции

- Максимальная погрешность не должна превышать +/- 30 %.
- Должно использоваться испытательное напряжение постоянного тока.
- В случае, когда конденсатор 5 мкФ подключен параллельно с измеряемым сопротивлением ($R_i = U_n 1000 \text{ Ом} / V$), результат испытаний не должен отличаться от результата испытаний без конденсатора более, чем на 10 %.
- Испытательное напряжение не должно превышать величины $1.5 U_n$.
- Сила испытательного тока, текущий по проверяемому сопротивлению $U_n 1000 \text{ Ом} / V$, должна быть не меньше 1 мА.
- Сила испытательного тока не должна превышать величины 15 мАр, а переменная составляющая силы тока не должна превышать 1,5 мА.
- Внешнее переменное или постоянное напряжение до $1,2 U_n$, поданное на испытательное оборудование в течение 10 с не должно повреждать это оборудование.

EN 61557 Часть 3 - Импеданс петли при неисправности

- Максимальная погрешность не должна превышать +/- 30 %.
- Испытательный прибор должен иметь индикацию того, что сопротивление испытательных проводников скомпенсировано.
- Во время измерения не должно появиться напряжение прикосновения, превышающее 50 В, или воздействие напряжения должно прекратиться в пределах 30 мс.
- Внешнее напряжение до 120 % номинального напряжения сети, поданное на испытательное оборудование, не должно повредить оборудование или причинять любую опасность для оператора. Кроме того, плавкий предохранитель в испытательном оборудовании не должен расплавиться.
- Внешнее напряжение до 173 % номинального напряжения сети, поданное на испытательное оборудование в течение 1 минуты, не должно повредить оборудование или вызывать любую опасность для оператора, однако плавкий предохранитель в цепи напряжения испытательного оборудования может расплавиться.

EN 61557 Часть 4 - Сопротивление соединений заземления и эквипотенциальных связей

- Максимальная погрешность не должна превышать +/- 30 %.
- Может использоваться испытательное напряжение переменного или постоянного тока в пределах от 4 до 24 В.
- Испытательное оборудование должно давать возможность изменять полярность испытательного напряжения при использовании испытательного напряжения постоянного тока.
- Сила испытательного тока должна быть не ниже, чем 200 мА в пределах минимального диапазона измерения.
- Минимальный диапазон измерения должен включать диапазон от 0,2 до 2 Ом.
- Должно быть обеспечено разрешение 0,01 Ом в цифровых приборах. В простых приборах должна быть ясная индикация превышения указанного предела.
- Должна быть обеспечена индикация компенсации как испытательных проводников, так и дополнительного внешнего сопротивления.
- Внешнее напряжение до 120 % номинального напряжения сети, поданное на испытательное оборудование в течение 1 минуты, не должно повредить оборудование или вызывать любую опасность для оператора, однако плавкий предохранитель в цепи напряжения испытательного оборудования может расплавиться.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

EN 61557 Часть 5 - Сопротивление заземления

- Максимальная погрешность не должна превышать +/- 30 % при следующих условиях:
 - Напряжение шума 3 В / 400 Гц, 60 Гц, 50 Гц, 16,66 Гц или постоянного тока, поданного между E (ES) и S испытательными зажимами.
 - Сопротивление вспомогательных зондов - 100 Re или 50 кОм (в зависимости от того, какая величина меньше).
- Должно использоваться переменное испытательное напряжение.
- Испытательное напряжение не должно превышать 50 Veff (70 Vp), или сила испытательного тока должна быть меньше, чем 3,5 mAeff (5 mAп), или испытательный сигнал должен быть приложен не более, чем на 30 мс.
- Испытательный прибор должен индицировать избыточное сопротивление вспомогательных испытательных электродов
- Внешнее напряжение до 120 % номинального напряжения сети, поданное на испытательное оборудование, не должно повредить оборудование или вызывать любую опасность для оператора. Кроме того, плавкий предохранитель в испытательном оборудовании не должен расплавиться.

EN 61557 Часть 6 – Испытание устройства дифференциального тока (RCD)

- Испытание должно быть проведено с использованием переменного синусоидального испытательного тока.
- Испытательное оборудование должно давать возможность измерить напряжение прикосновения или, по крайней мере, иметь индикацию значения, превышающего заданную границу. Измерение может быть проведено с или без вспомогательного испытательного электрода. При измерении тока размыкания напряжение прикосновения должно быть сопоставлено току размыкания и сравнено с граничной величиной.
- Погрешность измерения напряжение прикосновения должно быть в пределах от 0 до +20 % граничной величины
- Испытательное оборудование должно позволить измерять время размыкания и/или, по крайней мере, индицировать превышения граничной величины.
- Если испытание проводится при $0,5 I_{\Delta N}$, то испытание должно длиться по крайней мере 02 с, RCD не должен срабатывать в течение испытания.
Испытательные приборы, имеющие цель проверить RCD устройства при номинальной силе дифференциального тока 30 mA или меньше, должны также позволять проводить испытания при $5 I_{\Delta N}$, причем длительность ограничена 40 мс. Этот предел не используется, если контактная разность потенциалов более низкая, чем граничная величина (50 или 25V).
- Погрешность измерения времени размыкания не должна превышать +/- 10 % граничной величины
- Испытательное оборудование должно давать возможность измерять время размыкания и показывать или по крайней мере индицировать превышение граничной величины.
- Сила испытательного тока при измерении тока размыкания должна быть равна $I_{\Delta N}$ и $1,1 I_{\Delta N}$.
- Сила испытательного тока при испытании RCD при половине номинального дифференциального тока должна быть в пределах от $0,4 I_{\Delta N}$ до $0,5 I_{\Delta N}$.
- Погрешность измерения тока размыкания не должна превышать +/- 10 % номинального дифференциального тока.

Декларация погрешностей имеет силу для следующих нормальных условий:

- Нет никакого напряжения на PE проводнике.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

- Напряжение сети стабильно в течение измерения.
- Нет никаких токов утечки на испытуемой установке.
- Величина напряжения сети в течение измерения должна быть в пределах от 85 % до 110 % номинального напряжения сети.
- Сопротивление любого вспомогательного электрода находится в пределах диапазона, заданного производителем испытательного оборудования.
- Напряжение прикосновения не должно превышать 50 V_{eff} (70 V_p) при проведении любого испытания, или сила испытательного тока не должна превышать 3,5 mA_{eff} (5 mA_p), или напряжение должно прикладываться не более, чем 30 мс.
- Внешнее напряжение до 120 % номинального напряжения сети, поданное на испытательное оборудование, не должно повредить оборудование или вызывать любую опасность для оператора. Кроме того, плавкий предохранитель в испытательном оборудовании не должен расплавиться.
- Внешнее напряжение до 173 % номинального напряжения сети, поданное на испытательное оборудование в течение 1 мин, не должно повредить оборудование или вызывать любую опасность для оператора, однако, плавкий предохранитель в цепи напряжения испытательного оборудования может расплавиться.

EN 61557 Часть 7 – Последовательность фаз

- Испытательный прибор должен обеспечивать отчетливую индикацию последовательности фаз в диапазоне напряжения от 85 % до 110 % номинального напряжения сети и в диапазоне частоты от 95 % до 105 % номинальной частоты
- Испытательный прибор должен обеспечивать либо отчетливую акустическую индикацию (даже в присутствии уровней звука более 75 дБ) либо отчетливую визуальную индикацию (видимый на расстоянии 50 см) даже при уровнях внешнего освещения от 30 до 1000 люкс.
- Индикация последовательности фаз должна быть непрерывной.
- Испытательный прибор должен быть портативным даже, если испытание проводится непрерывно. Он должен быть произведен с применением изолирующих материалов по классификации двойной изоляции.
- Если один или два из испытательных проводников связаны с землей, в то время как другой проводник присоединен к фазному напряжению, сила тока утечки должен быть не более, чем 3,5 мА (при 110 % номинального напряжения сети).
- Внешний диаметр испытательных проводников должен быть по крайней мере 3,5 мм, сечение проводника по крайней мере 0,75 мм² с диаметром отдельных жил макс 0,07 мм. В тестовых проводниках должна использоваться двойная изоляция.

Как можно заметить из изложенного выше, нормы EN 61557 предлагают точные требования для создания измерительных приборов. Некоторые требования уже выполняются, в то время как другие полностью новые по сравнению с предыдущими инструкциями. Именно поэтому очень важно для всех конечных пользователей и дистрибуторов проверить, что их испытательное оборудование соответствует нормам EN 61557.

3. ЕВРОПЕЙСКИЕ СТАНДАРТЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

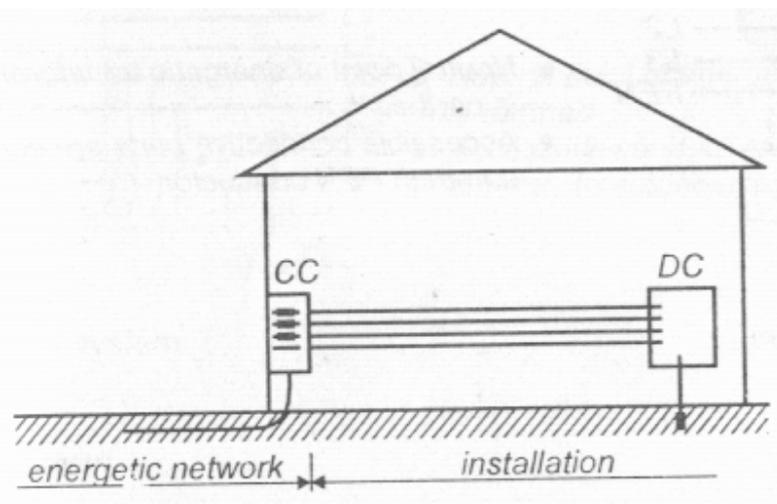
На международном уровне эта область охвачена нормами IEC 60364-х, в то время как на европейском уровне соответствующие нормы выпущены в гармонизированном виде как стандарт HD 384-х.

Отдельные страны имеют свои собственные национальные нормы, некоторые из них приведены ниже

- Германия *VDE 0100-х (эти нормы в основном идентичны с отдельными частями европейских гармонизированных норм HD 384-х)*
- Англия *BS 7671: Requirements for Electric installations (Требования к электрическим установкам)
IEE Wiring Regulations
16-ое издание
Брошюры интерпретации
HB 10011
HB 10116 - HB 10121
HB 10123*
- Австрия *ONORM B 5430 - ONORM B 5435*
- Франция *NF C15 - 100*
- Испания *UNE 20 - 460 - х - х*
- Италия *CEI 64 - 8*
- Чешская республика *CSN 33 2130
CSN 2000 – х - х*
- Финляндия *SF S 5825*
- Норвегия *TH 30995*

4. ОБЩИЕ КОММЕНТАРИИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

На рисунке ниже показана установка, которая будет подробно рассмотрена. Разграничивающие линии разделяют электрическую сеть снабжения и электрическую установку в здании.



Energetic network – энергетическая сеть

Installation - установка

Рис.1. Разделение между электрической установкой и сетью питания

CC – шкаф соединений

DC – распределительный шкаф

Некоторые измерения, которые выполняются в установке, включают в себя также часть сети и источник питания (например, измерение импеданса петли линии и петли повреждения, измерение сопротивления заземления в TN системах и т.п.)

Создание электрической установки определяется стандартами. В целом установки подразделяются на группы по использованию, виду напряжения, типу системы заземления и т.д.

По отношению к использованию установки можно разделить на:

- **Низковольтные установки в зданиях** для переменных напряжений до 250 В относительно земли (жилые помещения, деловые места, меблированные комнаты, школы, общественные места, сельскохозяйственные строения и т.д.).
- **Низковольтные установки в промышленности** для переменных напряжений до 600 В относительно земли или для постоянных напряжений до 900 В (электрические приводы, электромеханические обрабатывающие станки, системы нагрева и т.д.).
- **Установки для безопасных напряжений**, это - напряжения до 50 В переменного тока или до 120 В постоянного тока (телефония, общественные системы сигнализации, воздушные линии связи, оборудование с использованием искусственного интеллекта, системы безопасности, системы речи, местная сеть и т.д.).

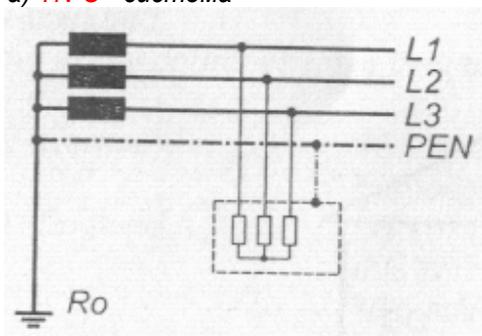
Что касается вида напряжения, то различают следующие виды установок:

- **Установки для переменных напряжений**
- **Установки для постоянных напряжений**

Измерения в электроустановках в теории и на практике

По отношению к характерной системе заземления (нейтральная точка трансформатора питания и открытые проводящие части нагрузок и бытовых приборов), установки можно разделить на следующие группы:

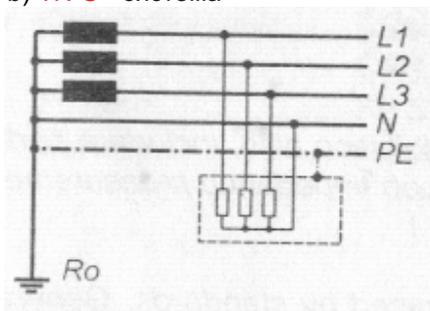
а) **TN-C** - система



- Нейтральная точка энергетического трансформатора заземлена
- Открытые проводящие части подсоединены к общему PEN проводнику

Рис. 2. TN-C - система

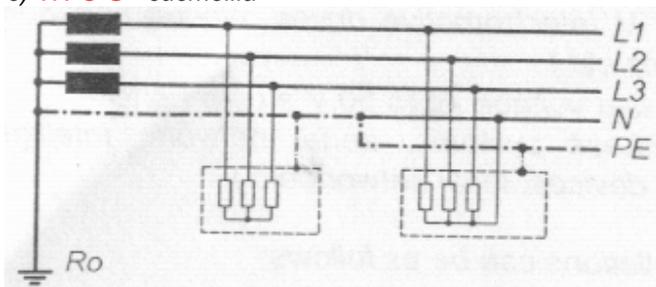
б) **TN-S** - система



- Нейтральная точка энергетического трансформатора заземлена
- Открытые проводящие части подсоединены к PE проводнику

Рис. 3. TN-S - система

в) **TN-C-S** - система



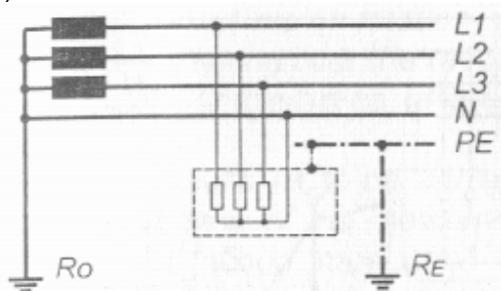
- Нейтральная точка энергетического трансформатора заземлена
- Открытые проводящие части частично подсоединены к PEN проводнику и частично к защитному PE проводнику

Рис. 4. TN-C-S - система

Измерения в электроустановках в теории и на практике

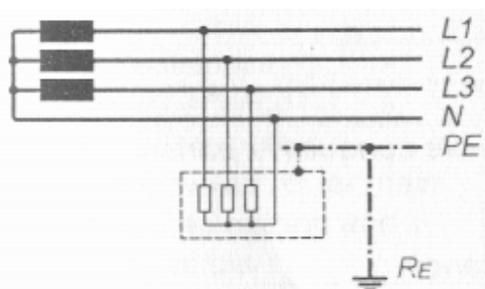
При монтаже **TN-C-S** - системы важно знать, что **N** и **PE** проводники не должны быть соединены вместе снова, после того, как **PEN** проводник отделен от **N** и **PE**.

d) **TT** - система



- Нейтральная точка энергетического трансформатора заземлена
- Открытые проводящие части подсоединены непосредственно к автономному заземлению

Рис. 5. **TT** - система



- Нейтральная точка энергетического трансформатора не заземлена
- Открытые проводящие части заземлены

Рис. 6. **IT** - система

Основные выражения, которые будут часто использоваться при электрических испытаниях

- **Открытая проводящая часть** - проводящая часть электроустановки или бытового прибора, такая как корпус, часть корпуса и т.п., к которой можно прикоснуться человеческим телом. Такая открытая часть свободна от напряжения сети, за исключением аварийных состояний.
- **Сторонняя проводящая часть** - доступная проводящая часть, которая не является частью электроустановки или бытового прибора (трубы нагревательной системы, трубы водоснабжения, металлические части системы кондиционирования, металлические части строительных конструкций и т.д.)
- **Удар током** – **патофизиологический** эффект электрического тока, текущего через тело человека или животного.
- **Электрод заземления** (заземлитель) – проводящий элемент или группа проводящих элементов, которые помещены в землю и тем самым обеспечивают хороший и постоянный контакт с землей.
- **Номинальное напряжение** (U_n) – напряжение, на которое рассчитана электроустановка или ее компоненты, такие как бытовые приборы, нагрузки и т.д. Некоторые характеристики установки также относят к номинальному напряжению (например, мощность).

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Напряжение повреждения (U_f) - напряжение, которое появляется между открытыми проводящими частями и сторонними проводящими частями или идеальной землей в случае повреждения приборов, связанных с основной установкой (связанные приборы). На рисунке ниже представлено напряжение повреждения (U_f) и его разделение на напряжение прикосновения (U_c) и напряжение на сопротивлении пола / обуви (U_s).

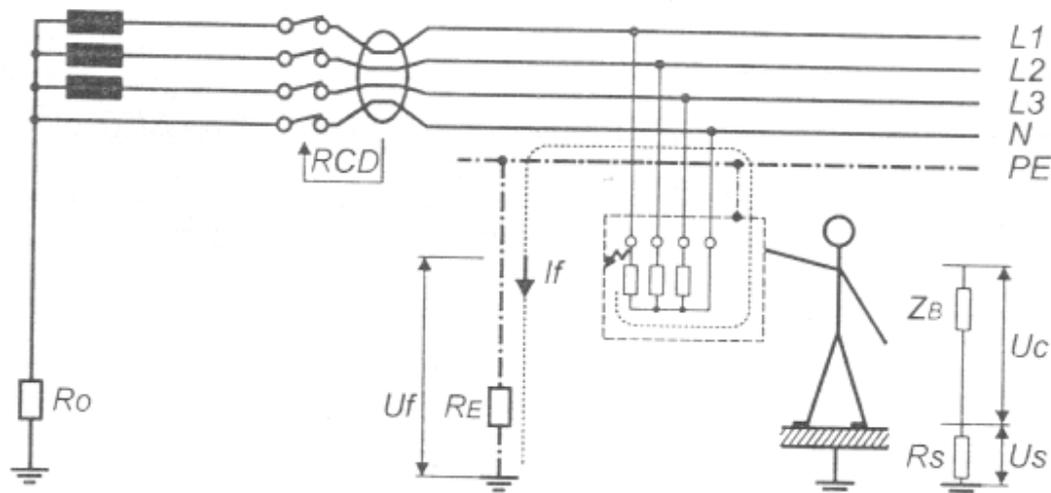


Рис. 7. Представление напряжений U_f , U_c и U_s в случае повреждения электрической нагрузки

Z_b импеданс человеческого тела

R_s сопротивление пола и обуви

R_e сопротивление заземления открытых проводящих частей

I_f ток повреждения

U_c напряжение прикосновения

U_s напряжение на сопротивлении пола / обуви

U_f напряжение повреждения

$U_f = U_c + U_s = I_f \times R_e$ (материал пола помещен идеально заземлен)

- **Напряжение прикосновения (U_c)** - напряжение, которое прикладывается к человеческому телу, когда оно касается открытой проводящей части. Тело стоит на полу или находится в контакте с сторонней проводящей частью
- **Граница напряжения прикосновения (U_L)** - максимальное напряжение прикосновения, которое может непрерывно присутствовать при определенных внешних условиях, например, присутствие воды.
- **Номинальный ток нагрузки (I_n)** - ток, который течет через нагрузку при нормальных рабочих условиях и при номинальном напряжении сети.
- **Номинальный ток установки (I_n)** - ток, который обеспечивает установка при нормальных рабочих условиях.
- **Ток повреждения (I_f)** - ток, который течет по открытым проводящим частям к земле в случае повреждения прибора, подсоединенного к сети.
- **Ток утечки (I_L)** - ток, который обычно течет через изолирующие материалы или емкостные элементы к земле в нормальных условиях
- **Ток короткого замыкания (I_{sc})** - ток, который течет в короткозамкнутой цепи между двумя точками различного потенциала.

5. ИЗМЕРЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ В ЗДАНИЯХ

В дополнение к проведению измерений также жизненно важно гарантировать, что проведены различные визуальные проверки (правильный цвет изоляции, размер проводника, надежное соединение с землей и правильное уравнивание, соответствующее качество используемых материалов и т.д.) Кроме того, такие функциональные тесты, как направление вращения двигателя, функционирование ламп, нагревательных систем и т.п., проводятся при приеме в ответственность электрической установки.

Далее в этом руководстве рассматриваются только теория и практика измерений.

Все измеренные результаты должны быть откорректированы независимо от используемого измерительного прибора и независимо от измеряемого параметра (сопротивление изоляции, сопротивление заземления, импеданс петли повреждения и т.д.) перед сопоставлением / сравнением их с допускаемыми значениями.

Коррекция необходима из-за ошибок измерения. Стандарт EN 61557 устанавливает максимально допускаемые отклонения для каждого параметра. Допускаемое отклонение и следовательно необходимая коррекция результатов измерения показана в нижеприведенной таблице.

Параметр	Допускаемое отклонение	Необходимая коррекция результата измерения
Сопротивление изоляции	+ / -30 %	$R \times 0,7$
Импеданс петли повреждения	+ / -30 %	$Z \times 1,3$
Сопротивление защитных проводников, проводников основного и дополнительного уравнивания и проводников заземления	+ / -30 %	$R \times 1,3$
Сопротивление заземления	+ / -30 %	$R \times 1,3$
Напряжение прикосновения	+20 / -0 % U_L	$R + 5 \text{ В } (U_L=25 \text{ В})$ $R + 10 \text{ В } (U_L=50 \text{ В})$
Время срабатывания RCD устройств	+ / -10 % t_L	$R + 0,1 t_L$ (стандартный RCD) $R + 0,1 t_L$ макс (селективный RCD) $R - 0,1 t_L$ мин (селективный RCD)
Ток срабатывания RCD устройств	+ / -10 % $I_{\Delta N}$	$R + 0,1 I_{\Delta N}$ (верхняя граница) $R - 0,1 I_{\Delta N}$ (нижняя граница)

Таблица 1. Коррекция результатов измерения

где:

R результат измерения, полученный с помощью измерительного прибора

U_L граничное значение напряжения прикосновения (25 или 50 В)

t_L граничное значение времени срабатывания RCD

t_L макс верхнее граничное значение времени срабатывания RCD

t_L мин нижнее граничное значение времени срабатывания RCD

$I_{\Delta N}$ номинальный дифференциальный ток RCD устройства

Граничные значения и величины, упомянутые в этой таблице, - это максимальные пределы.

Инженер с достаточным знанием своего испытательного оборудования и его точности может выполнять измерения и коррекции намного ближе к идеальным уровням.

5.1. СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ EN 61557-2

Соответствующее сопротивление изоляции между токопроводящими частями и открытыми проводящими частями – это основной параметр безопасности, который защищает от прямого или косвенного прикосновения человеческого тела к напряжению сети. Также важно сопротивление изоляции между токопроводящими частями, которое предохраняет от токов коротких замыканий или токов утечки.

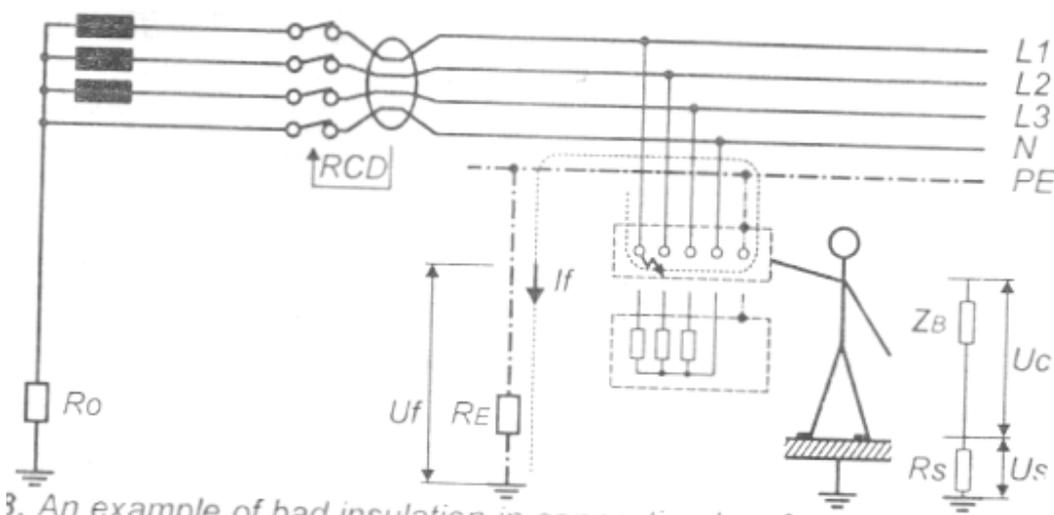


Рис.8. Пример плохой изоляции в соединительной коробке для постоянных присоединений нагрузки и результирующего напряжения повреждения U_f

I_fток повреждения

U_c напряжение прикосновения

U_sнапряжение на сопротивлении пола / обуви

Z_b импеданс человеческого тела

R_s сопротивление пола и обуви

R_e сопротивление заземления открытых проводящих частей

U_f напряжение повреждения

$$U_f = U_c + U_s = I_f \times R_e$$

На вышеприведенном рисунке представлена соединительная коробка с плохим изолирующим материалом между фазным проводником и металлическим корпусом. В такой ситуации существует ток повреждения I_f , текущий по защитному проводнику через сопротивление заземления к земле. Напряжение на сопротивлении заземления R_e называется напряжением повреждения.

В различных случаях, таких как кабели, соединительные элементы, изолирующие элементы распределительных шкафов, переключатели, точки присоединения, корпуса и т.п. используются различные изолирующие материалы. Независимо от используемого материала сопротивление изоляции должно быть по крайней мере выше, чем требуемое по нормам, - вот почему его необходимо измерять.

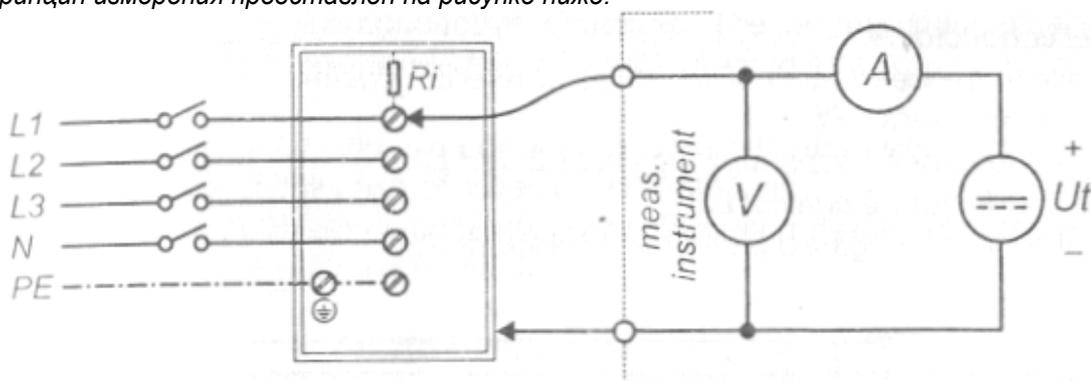
Общие комментарии относительно измерения сопротивления изоляции

Измерения сопротивления изоляции должны быть проведены перед первым присоединением сети к установке. Все выключатели должны быть включены и все нагрузки должны быть отсоединены,

Измерения в электроустановках в теории и на практике

что позволяет проверить установку в целом и быть уверенным, что результаты испытания не подверглись влиянию никакой нагрузки.

Принцип измерения представлен на рисунке ниже:



Meas.instrument – измерительный прибор

Рис. 9. Принцип измерения сопротивления изоляции

Используется метод вольтметра-амперметра.

Результат = $Ut / I = Ri$

где:

Ut – испытательное напряжение постоянного тока, измеренное вольтметром V .

I – испытательный ток, возбуждаемый генератором постоянного тока через сопротивление изоляции Ri (согласно стандарту 61557 генератор должен возбуждать испытательный ток по крайней мере 1 мА при номинальном испытательном напряжении). Ток измеряется амперметром.

Ri – сопротивление изоляции.

Величина испытательного напряжения зависит от номинального сетевого напряжения проверяемой установки. При использовании измерительного прибора Eurotest 61557, Instaltest 61557 или Earth-Insulation Tester испытательное напряжение может быть таким:

- 50 В постоянного тока
- 100 В постоянного тока
- 250 В постоянного тока
- 500 В постоянного тока
- 1000 В постоянного тока

Instaltest 61557 или Earth-Insulation Tester могут в дополнение к вышеперечисленным напряжениям вырабатывать любое испытательное напряжение в диапазоне 50 В вплоть до 1000 В с шагом 10 В.

Предопределенные номинальные испытательные напряжения, зависящие от номинального напряжения сети, приведены в таблице 2.

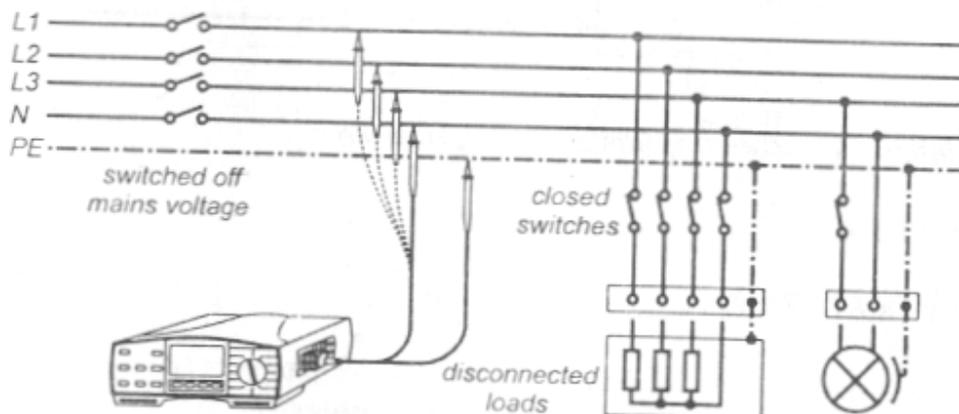
Все измерения перед регистрацией должны быть приведены в область допустимых значений - см. Главу 5.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.1.1. Измерение сопротивления изоляции между проводниками

Измерения должны проводиться между всеми проводниками следующим образом:

- Между каждым из фазных проводников L1, L2 и L3, отдельно, и нулевым рабочим проводником N.
- Между каждым из фазных проводников L1, L2 и L3, отдельно, и защитным проводником PE.
- Отдельно, между каждым из фазных проводников L1, L2 и L3 и защитным проводником PE.
- Между фазным проводником L1 и проводниками L2 и L3, отдельно.
- Между фазными проводниками L2 и L3.
- Между нулевым рабочим проводником N и защитным проводником PE.



Switched off mains voltage – сетевое напряжение отключено

Closed switches – замкнутые выключатели

Disconnected loads – отключенные нагрузки

Рис.10. Пример измерения сопротивления изоляции между проводником PE и другими проводниками при использовании Eurotest 61557, Instaltest 61557 или Earth-Insulation Tester.

Примечания!

- Выключите напряжение сети перед началом измерений!
- Во время испытаний все выключатели должны быть замкнуты!
- Во время испытаний все нагрузки должны быть отсоединены!

Минимальные значения сопротивления изоляции, определенные нормами, представлены в нижеприведенной таблице

Номинальное напряжение сети	Номинальное испытательное напряжение постоянного тока, В	Наименьшее допускаемое сопротивление изоляции, Мом
Безопасное низкое напряжение	250	0,25
Напряжение до 500 В, за исключением безопасного низкого напряжения	500	0,5
Свыше 500 В	1000	1,0

Таблица 2. Наименьшие допускаемые значения сопротивления изоляции, измеренного между проводниками сети

Измерения в электроустановках в теории и на практике

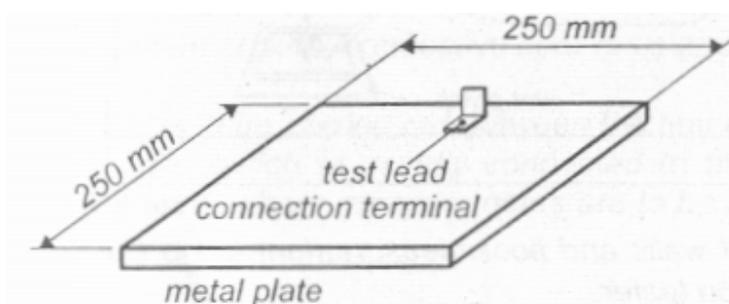
5.1.2. Измерение сопротивления непроводящих стен и полов

Имеются определенные ситуации, когда желательно, чтобы некоторое помещение была полностью изолирована от проводника защитного заземления (например, для проведения специальных испытаний в лаборатории и т.п.). Эти помещения рассматриваются как электрически безопасное пространство и в которых стены и пол должен быть сделан из непроводящих материалов. Размещение любого электрического оборудования в таких помещениях должно быть проведено таким образом, чтобы:

- Было невозможно одновременно коснуться двух проводов под напряжением с различными потенциалами в случае повреждения основной изоляции.
- Было невозможно одновременно коснуться открытых и сторонних проводящих частей.

Защитный проводник PE, который мог бы проводить опасное напряжение повреждения к потенциалу земли, не допустим в непроводящих помещениях. Непроводящие стены и пол защищают оператора в случае нарушения основной изоляции.

Сопротивление непроводящих стен и полов должно измеряться с помощью тестера сопротивления изоляции, использующего процедуру, описанную ниже. Должны использоваться специальные измерительные электроды измерения, описанные ниже.



Test lead connection terminal – клемма для присоединения испытательного проводника
Metal plate – металлическая пластина

Рис. 11. Измерительный электрод

Измерение должно проводиться между измерительным электродом и защитным проводником PE, который доступен только с внешней стороны проверяемого непроводящего помещения.

Для улучшения электрического контакта влажная прокладка (270 мм x 270 мм) должна быть помещена между измерительным электродом и испытуемой поверхностью. Во время измерений к электроду должна быть приложена сила 750 Н (измерение пола) или 250 Н (измерение стены).

Значение испытательного напряжения должно быть равным:

- 500 В в случае, когда номинальное сетевое напряжение относительно земли меньше 500 В
- 1000 В в случае, когда номинальное сетевое напряжение относительно земли выше 500 В

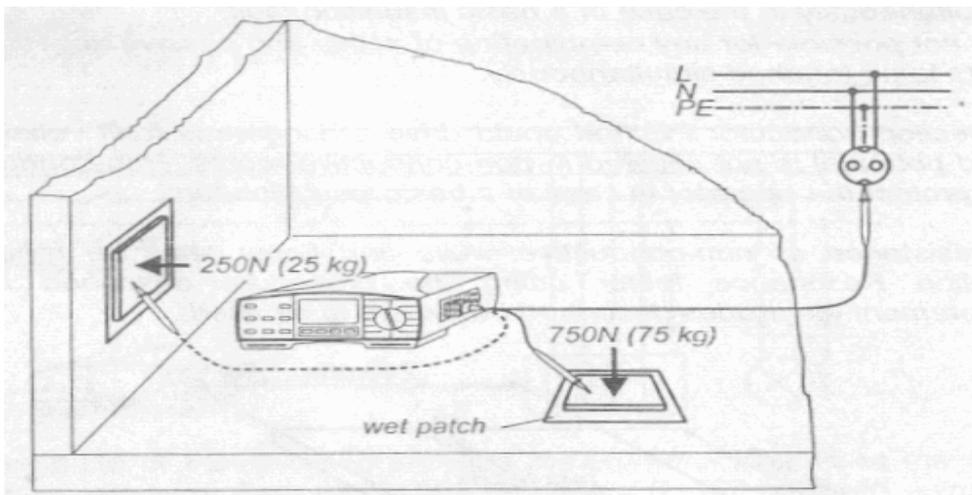
Значение измеренного и исправленного результата испытаний (см. главу 5) должно быть выше:

Измерения в электроустановках в теории и на практике

50 кОм...в случае, когда номинальное сетевое напряжение относительно земли меньше 500 В
100 кОм...в случае, когда номинальное сетевое напряжение относительно земли выше 500 В

Примечания!

- Желательно, чтобы измерение проводилось, используя обе полярности напряжения (реверсирование испытательных зажимов) и чтобы бралось среднее значение обоих результатов.
- Подождите перед взятием отсчета, пока результат испытаний не стабилизируется.



Wet patch – влажная прокладка

Рис. 12. Измерение сопротивления стен и пола с использованием Eurotest 61557, Instaltest 61557 или Earth-Insulation Tester.

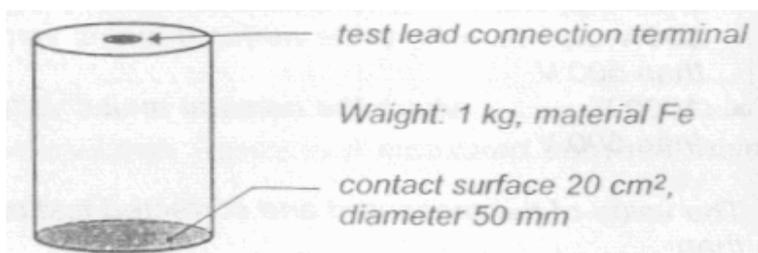
5.1.3. Измерение сопротивления полупроводящих полов

В некоторых случаях, таких как взрывоопасные зоны, склады огнеопасных **легковоспламеняющихся** материалов, лакокрасочные цехи, заводы для производства высокочувствительной электронной аппаратуры, пожароопасные зоны и т.д. требуется иметь поверхность пола с определенной проводимостью. В этих случаях пол успешно предотвращает образование статического электричества и проводит все низкоэнергетические потенциалы к земле.

Для того, чтобы получить соответствующее сопротивление пола, должны использоваться полупроводящий материалы.

Сопротивление должно проверяться с использованием тестера сопротивления изоляции с испытательным напряжением от 100 до 500 В.

Должен использоваться специальный испытательный электрод, определенный в соответствии с нормами, см. рисунок ниже.

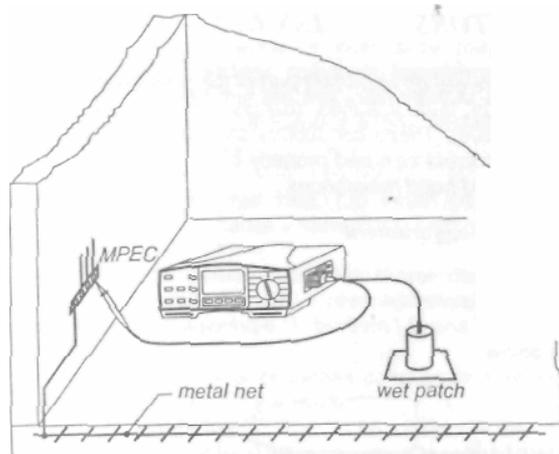


Зажим для подключения испытательного проводника; Вес: 1 кг, материал - железо
Поверхность соприкосновения - 20 см², диаметр 50 мм

Рис. 13. Испытательный электрод

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Процедура измерения представлена на рисунке ниже. Измерение должно быть повторено несколько раз при различных размещениях и в качестве окончательного результата принято среднее.



Внимание!

- Желательно, чтобы измерение проводилось, используя обе полярности напряжения и чтобы брался средний результат.
- Подождите, пока результат испытаний стабилизируется.

Metal net – металлическая сетка

Рис. 14. Измерение сопротивления полупроводящего пола.

Измерение должно быть выполнено между испытательным электродом и металлической сеткой, встроенной в пол, которая обычно соединяется с защитным проводником РЕ. Размеры поверхности, где проводятся измерения, должны быть по крайней мере 2 x 2 м.

5.1.4. Измерение сопротивления изоляции кабелей, проложенных в грунте - 30 ГОм

Измерение должно проводиться также как между проводниками на установке, за исключением того, что испытательное напряжение должно быть, 1000 В из-за экстремальных условий, в которых такой кабель должен находиться. Испытания сопротивления изоляции должны быть выполнены между всеми проводниками при отсоединенном сетевом напряжении. Из-за высоких значений сопротивления изоляции рекомендуется использовать *Earth-Insulation Tester*. Прибор позволяет проводить измерения вплоть до 30 ГОм.

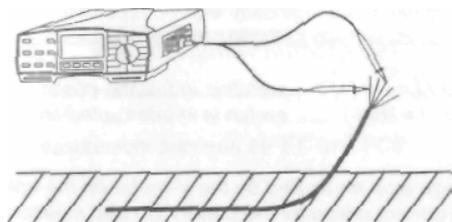


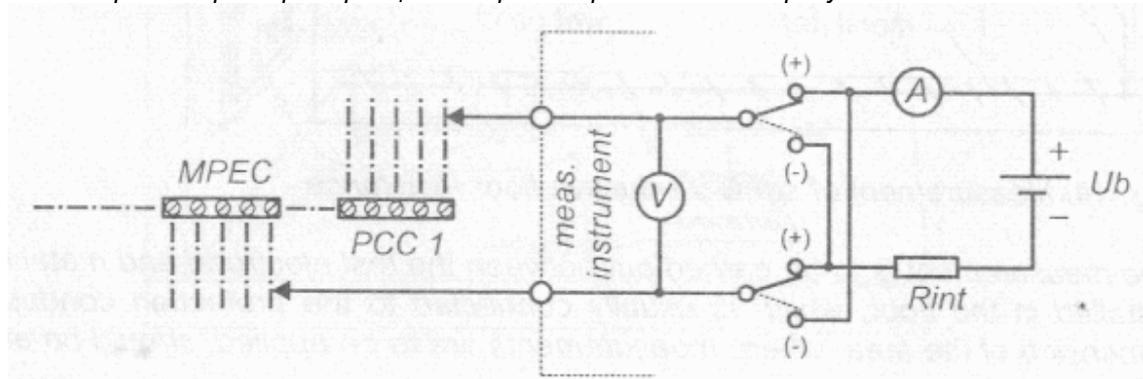
Рис. 15. Измерение сопротивления изоляции заземленного кабеля при использовании *Earth-Insulation Tester*.

5.2. НЕПРЕРЫВНОСТЬ ЗАЩИТНЫХ ПРОВОДНИКОВ, ПРОВОДНИКОВ ОСНОВНОГО И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО УРАВНИВАНИЯ И ПРОВОДОВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ EN 61557-4

Вышеупомянутые проводники - важная часть защитной системы, которая предохраняет все, что находится в помещении, от опасных напряжений повреждения (опасный в аспекте продолжительности также как и в смысле абсолютного значения). Эти проводники могут успешно служить этой цели только, если они имеют надлежащий размер и должным образом соединены. Вот почему важно проверять их непрерывность и сопротивления соединений.

Общие комментарии относительно измерения

Согласно правилам измерение должно проводиться, используя или переменное или постоянное испытательное напряжение со значением между 4 и 24 В. Контрольно-измерительные приборы, выпускаемые METREL, используют испытательное напряжение постоянного тока и метод вольтметра-амперметра. Принцип измерения представлен на рисунке ниже.



Meas.instrument – измерительный прибор

Рис. 16. Принцип измерения

Напряжение батареи вызывает испытательный ток в проверяемой петле через амперметр и внутреннее сопротивление R_{int} . Падение напряжения измеряется вольтметром. Сопротивление R_x рассчитывается на основе уравнения, приведенного ниже. Различные соединения, обычно ржавые, могут быть включены в тестируемую петлю. Проблема с такими соединениями в том, что они могут вести себя как гальванический элемент, сопротивление которого зависит от полярности испытательного напряжения (диод). Именно поэтому правила требуют, чтобы приборы имели возможность реверса испытательного напряжения. Современные испытательные приборы, такие как Eurotest 61557, Instaltest 61557 или Earth-Insulation Tester выполняют измерения автоматически с обеими полярностями.

Из-за двух полярностей напряжения получают два предварительных результата:

Результат(+) = $U / I = R_x (+)$ переключатель в положении, обозначенном сплошной линией (рис. 16)

Результат(-) = $U / I = R_x (-)$ переключатель в положении, обозначенном прерывистой линией (рис. 16)

где

U падение напряжения, измеренное вольтметром на неизвестном сопротивлении R_x .

I испытательный ток, вызываемый батареей U_b и измеренный амперметром.

Отображается окончательный результат (наибольшее значение).

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Если результат испытаний превысит установленное граничное значение (предварительно установлено значение) прибор выдаст акустический сигнал предупреждения. Цель такого сигнала в том, чтобы измеритель мог сфокусировать свое внимание на использовании испытательных проводников, а не на дисплее.

На практике могут проявляться различные значения индуктивности защитных проводников (обмотки двигателей, соленоиды, трансформаторы и т.д.), которые могут влиять на проверяемую петлю.

Важно, чтобы контрольно-измерительные приборы были в состоянии измерять сопротивление в таких условиях.

Eurotest 61557, Instaltest 61557 или Earth-Insulation Tester - все они удовлетворяют этому условию.

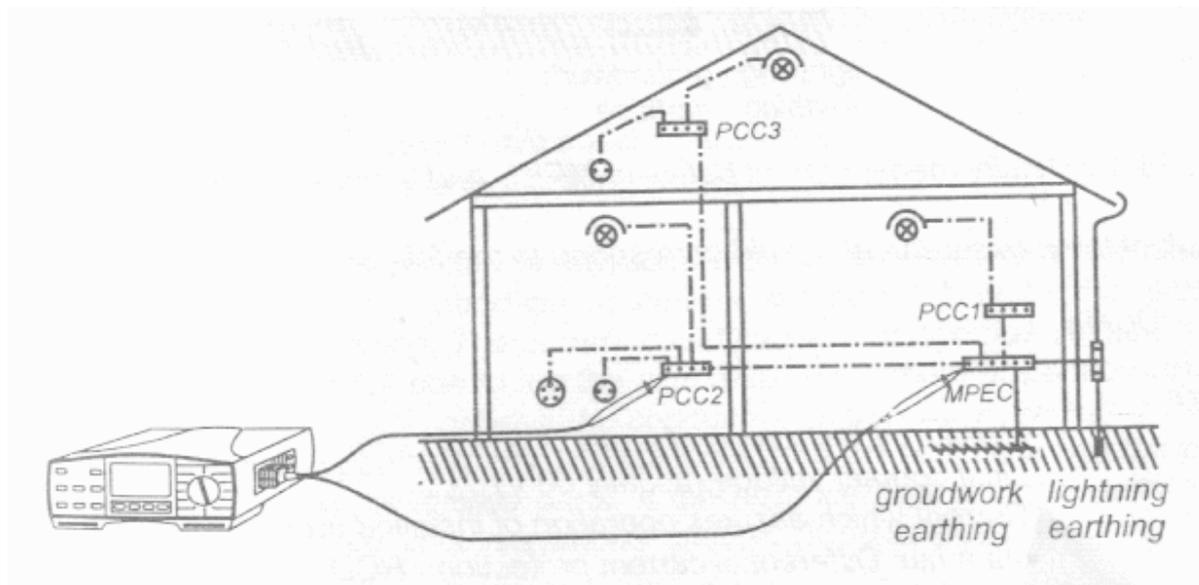
Проводники с очень большой длиной, с слишком маленьким поперечным сечением плохие контакты, неправильные соединения и т.д. могут являться причиной неприемлемо высокого сопротивления защитных проводников.

Плохие контакты – это наиболее обычная причина высокого сопротивления, особенно в старых установках, в то время как другие перечисленные причины могут вызывать проблемы в новых установках.

Поскольку измерения защитных проводников могут быть весьма сложными, то проводятся три основные группы измерений:

- Измерения защитных проводников, присоединенных к Основному Соединителю Защитного Заземления (ОСЗЗ – рус., MPEC - англ.).
- Измерения защитных проводников, присоединенных к Соединителю Защитного Проводника (СЗП – рус., PCC - англ.).
- Измерения защитных проводников дополнительного и локального заземления

Представление практического измерения



Groundwork earthing – заземление фундамента

Lightning earthing - заземление грозозащиты

Рис. 17. Измерения непрерывности между ОСЗЗ (MPEC) и СЗП (PCC).

Измерения в электроустановках в теории и на практике

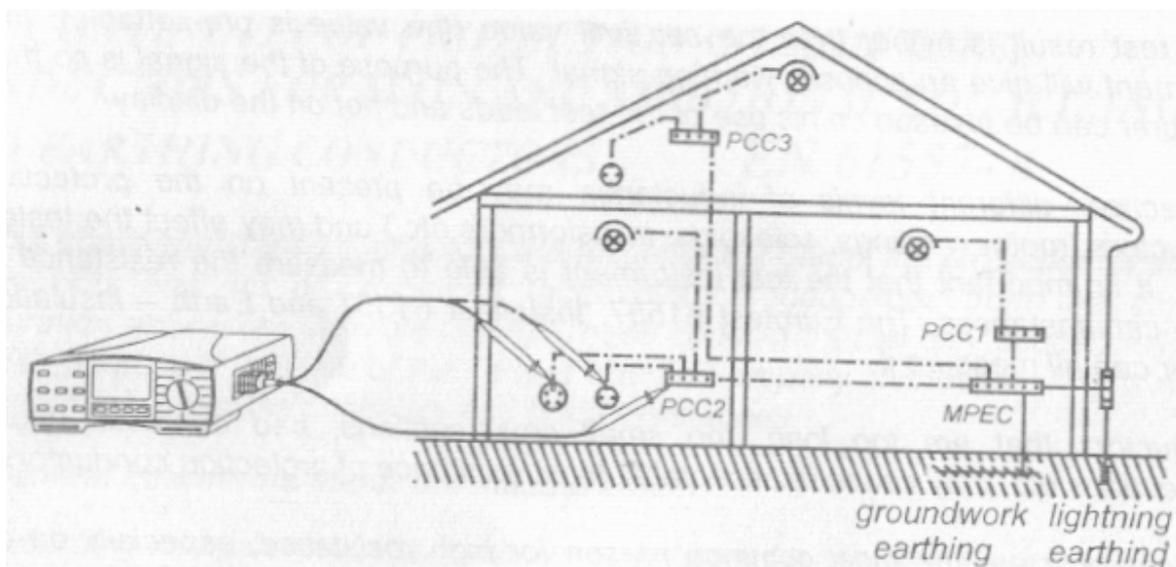


Рис. 18. Измерение непрерывности внутри индивидуального шкафа для плавких предохранителей (должна быть измерена каждая токовая петля)

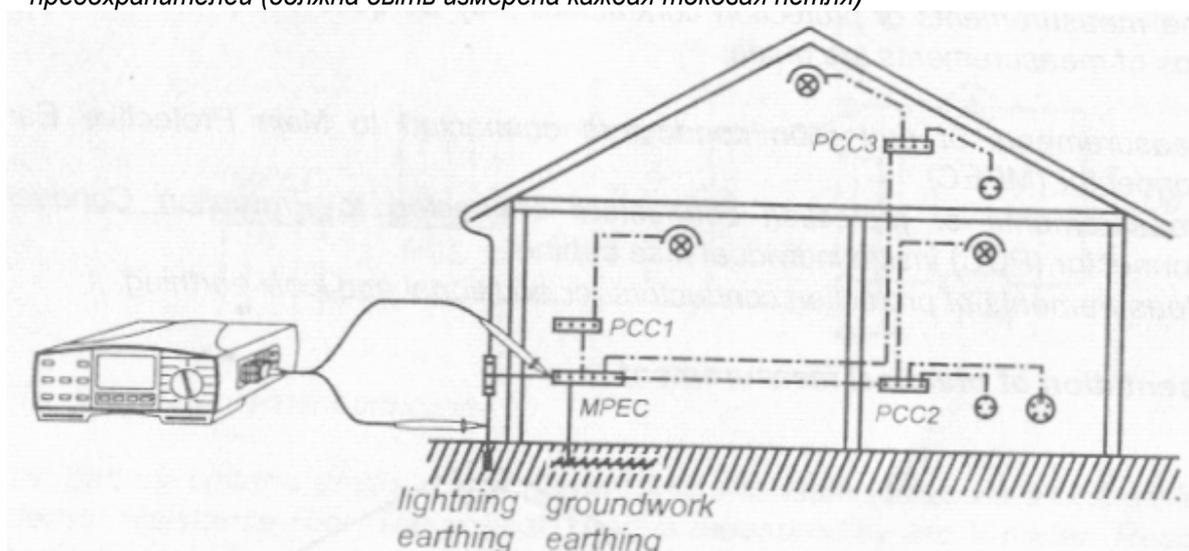


Рис. 19. Измерение непрерывности между ОС33 (МРЕС) и молниеотводом

Результат измерения должен соответствовать следующему условию:

$$R_{PE} < U_L / I_a$$

где

R_{PE} Измеренное сопротивление защитного проводника.

U_L Граничное напряжение соприкосновения (обычно 50 В)

I_a Ток, который обеспечивает работу установленного защитного устройства

- $I_a = I_{\Delta n}$ – защита по дифференциальному току - RCD
- $I_a = I_a (5s)$ - защита от сверхтоков

Так как испытываемые проводники могут иметь значительную длину, то может оказаться необходимым иметь значительную длину испытательных проводников, и, следовательно, они могут иметь значительное сопротивление. Поэтому важно перед проведением измерения гарантировать, что сопротивление проводников скомпенсировано. Если компенсация не проводилась, то в конечных результатах это сопротивление должно быть учтено.

5.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ С ЗЕМЛЕЙ EN 61557- 4

Там, где основного заземления недостаточно для предотвращения возрастания опасного напряжения повреждения, должно применяться дополнительное соединение с землей. Пример соединения с основной и дополнительной землей показан ниже.

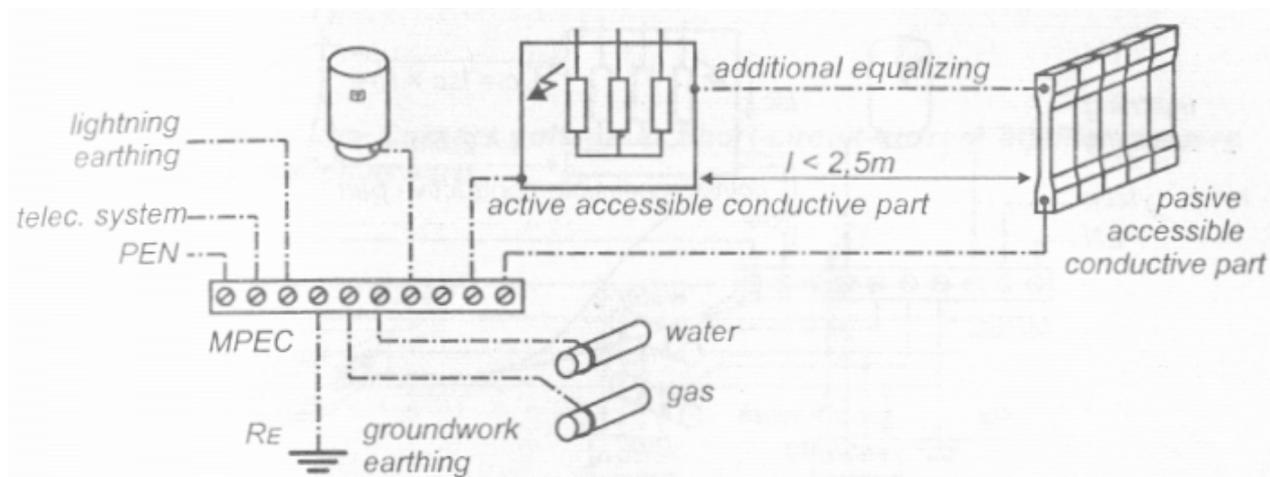


Рис. 20. Основное и дополнительное соединение с землей

Основное заземление состоит из защитных проводников, присоединенных непосредственно к:

- Основному ОСЗЗ (МРЕС) или
- Коллектору защитного проводника СЗП (РСС)

Защитные проводники для дополнительного уравнивания соединяют сторонние проводящие части:

С активными доступными проводящими частями или

- Непосредственно с открытыми проводящими частями или
- С Соединителями Дополнительного Заземления (СДЗ – рус., САЕ – англ.)

Если случилось повреждение (короткое замыкание) в любой нагрузке, например, в трехфазном электродвигателе, показанном на рисунке выше), ток короткого замыкания I_{sc} может течь по защитному проводнику в основное заземление. Ток может вызвать опасное падение напряжения (относительно потенциала земли) из-за высокого сопротивления защитного проводника R_{PE} .

Так как близлежащие сторонние проводящие части (например, радиатор) уже присоединен к потенциалу земли, то напряжение U_c будет присутствовать между открытыми и сторонними проводящими частями. Если расстояние между этими частями меньше, чем 2.5 м, то имеет место опасная ситуация (одновременное касание обеих проводящих частей).

Чтобы избежать такой ситуации, требуется дополнительное заземление, что означает, что требуется дополнительное соединение между открытыми и сторонними частями.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Как определить потребность в дополнительном заземлении

Чтобы установить потребность в дополнительном заземлении, должно быть проведено измерение сопротивления защитного проводника от открытой части до ОСЗЗ- МРЕС (СЗП-РСС), см. рисунок ниже.

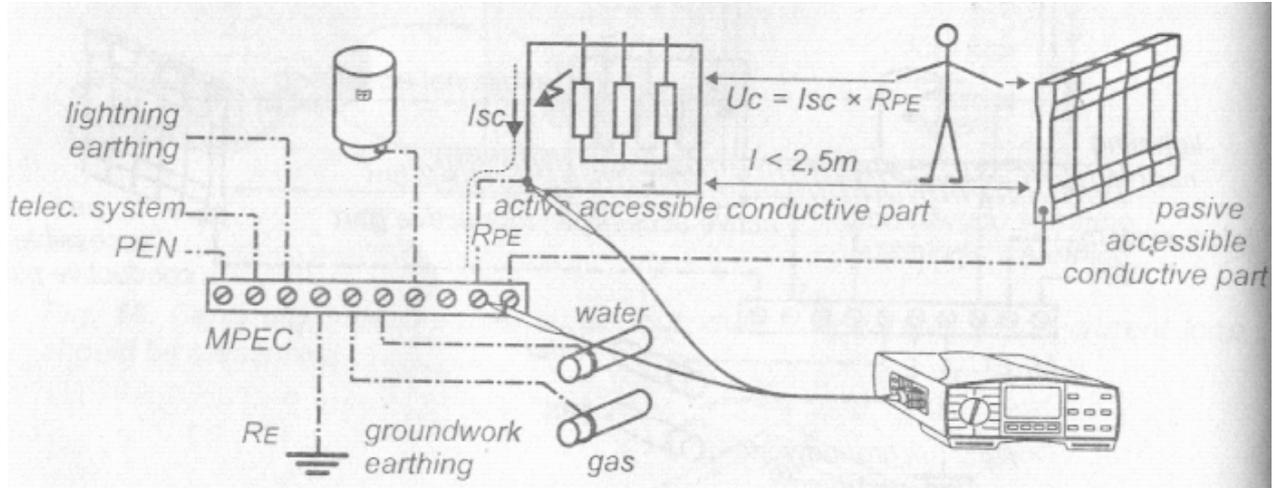


Рис. 21. Измерение защитного проводника для установления необходимости дополнительного уравнивания

Если результат испытаний не соответствует требуемому в соответствии с уравнением на странице 26, то должно быть применено дополнительное заземление.

Как только применено дополнительное заземление, то должна быть проверена эффективность такого заземления. Испытание проводится путем повторного измерения сопротивления между открытыми и сторонними частями, см. рисунок ниже. Результат должен соответствовать тому же самому условию, что и при основном измерении, а именно: $R_{PE} < U_L / I_a$ (см. описание на странице 26)

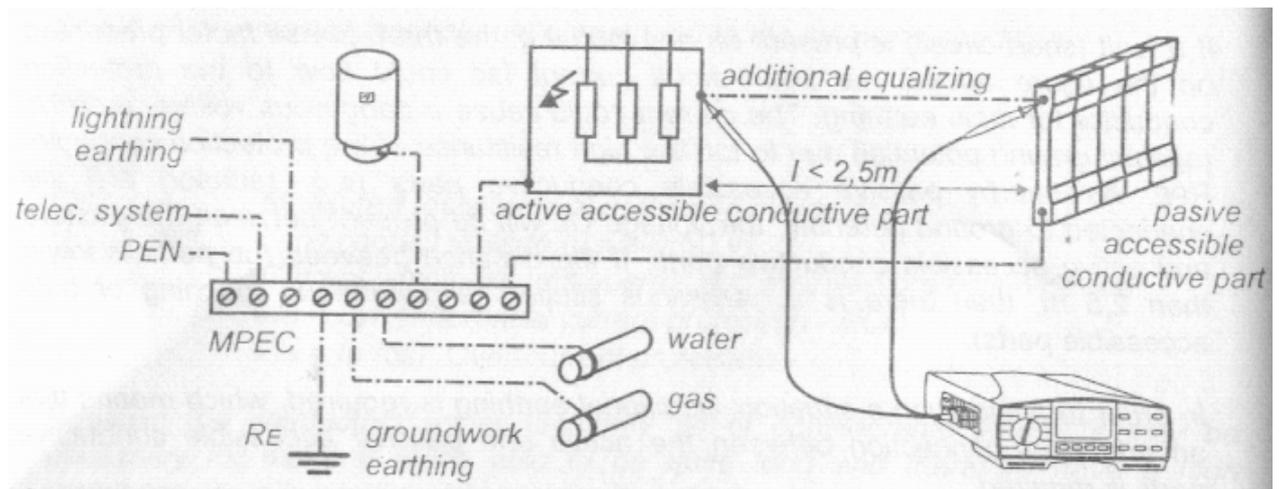


Рис. 22. Проверка эффективности дополнительного заземления

Измерения в электроустановках в теории и на практике

На практике уровень сопротивления основного заземления может легко быть превышен, особенно в случае защиты от сверхтока. В этом случае допустимы только малые сопротивления, благодаря которым возможны большие токи повреждения (короткого замыкания).

Испытательный прибор Eurotest 61557 может выполнять также непосредственное измерение напряжения прикосновения относительно сторонних проводящих частей при токе короткого замыкания. Схема присоединения прибора и принцип измерения обсуждаются ниже.

Измерение напряжения прикосновения относительно сторонних проводящих частей при токе короткого замыкания

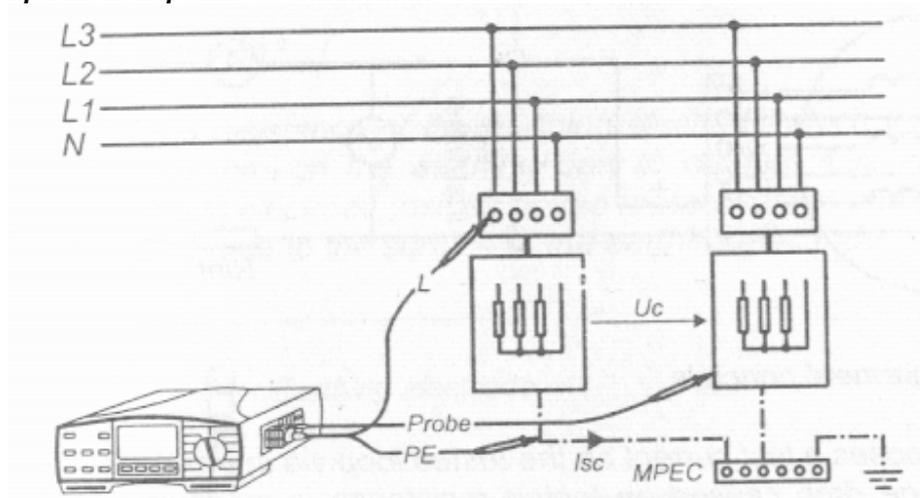


Рис. 23. Измерение напряжения прикосновения относительно сторонних проводящих частей при токе короткого замыкания с использованием испытательного прибора Eurotest 61557

Прибор создает большую нагрузку на сетевое напряжение между фазой L и защитные испытательные зажимы PE в течение короткого периода времени (может протекать испытательный ток до 23 А). Испытательный ток создаст особое падение напряжения на защитном проводнике, соединяющем испытательную нагрузку и MPEC (PCC). Падение напряжения измеряется непосредственно относительно другой открытой или сторонней проводящей части, между PE и испытательными зажимами зонда. Измеренный результат приводится к короткозамкнутому току повреждения, рассчитанному испытательным прибором.

На основе этого результата может быть установлена необходимость в дополнительном заземлении.

Хорошая особенность измерения - это высокая точность результата испытания, благодаря большому испытательному току, однако оператор должен знать, что измерение может быть проведено только при условии, что в тестируемую петлю не включено никакое RCD, которое конечно же сработало во время измерения. В этом случае RCD должен быть закорочен.

5.4. МАЛЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Эта функция полезна при обслуживании электроустановок и оборудования, проверке состояния плавкого предохранителя, при поиске различных соединений и т.д. Преимущество этой функции относительно функций проверки защитных проводников согласно EN 61557 (описанных в предыдущей главе) - в том, что эта функция является непрерывной (малый испытательный ток и нет изменения полярности испытательного напряжения) и предназначен для экспресс-методов проверки. Испытательные приборы Eurotest 61557, Instaltest 61557 и Earth-Insulation Tester - все они имеют эту функцию.

Принцип измерения представлен на рисунке ниже.

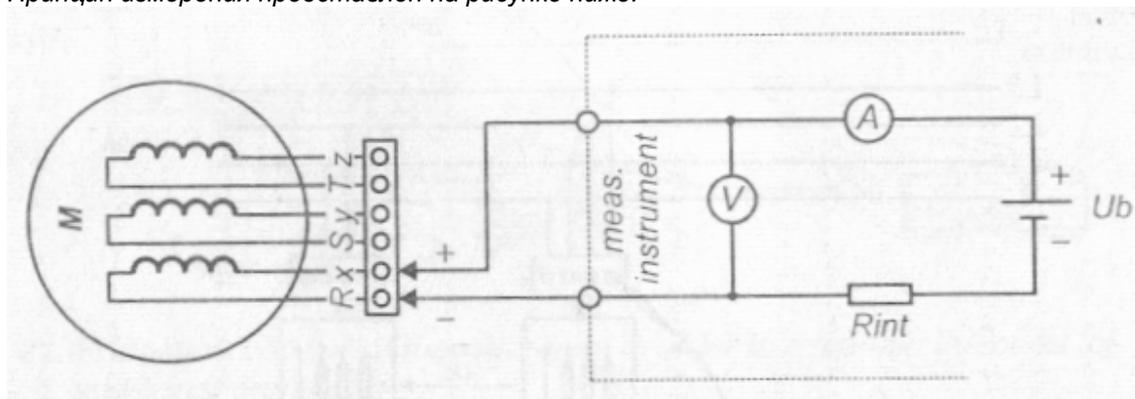


Рис. 24. Принцип измерения

Батарея вызывает испытательный ток в проверяемой петле через внутреннее сопротивление R_i и амперметр. Падение напряжения на проверяемом сопротивлении измеряется вольтметром. Прибор вычисляет проверяемое сопротивление на основе следующего уравнения:

$$R_x = U / I,$$

где

UНапряжение, измеренное вольтметром.

I Испытательный ток, измеренный амперметром.

Внутреннее сопротивление приборов выше по сравнению с внутренним сопротивлением при выполнении предыдущей функции (EN 61557), вот почему испытательный ток много меньше (меньше, чем 7 мА).

Процедура измерения и подключение испытательных проводников в точности такие же, как и в предыдущей функции.

Если измеренное сопротивление меньше, чем 20 Ом, прибор подаст акустический сигнал, что позволяет измерителю сфокусировать внимание непосредственно на измерении, а не на дисплее.

1.5. СОПРОТИВЛЕНИЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ EN 61557-5

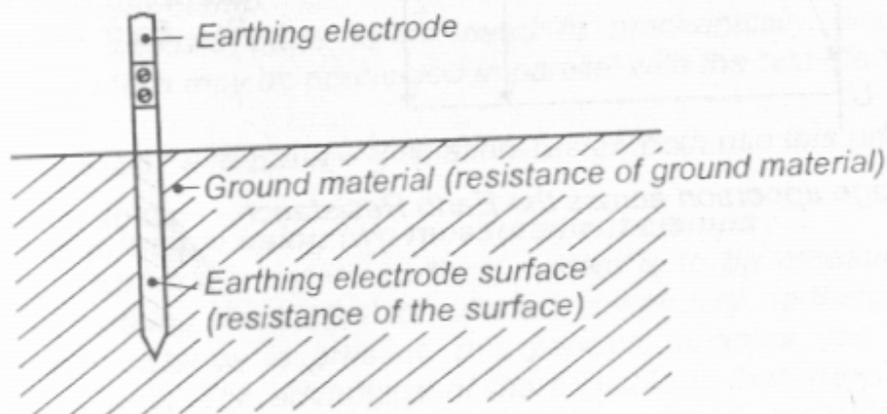
Заземление - одна из наиболее важных функций при защите людей, животных и при установке присоединенных нагрузок от влияний электрического тока. Смысл заземления открытых и сторонних проводящих частей электрических нагрузок в том, чтобы привести возможный электрический потенциал, который может появиться на электрических нагрузках в результате любой неисправности, к потенциалу земли.

Заземление может быть выполнено различными способами. Обычно оно выполняется металлическими прутками, полосами, металлическими пластинами и т.д.

Сложность заземления зависит от почвы, объекта, который должен быть заземлен, и от максимального сопротивления заземления, которое допускается в любом отдельном случае.

Что такое сопротивление заземления?

Это - электрическое сопротивление электрода заземления, которому подвергается электрический ток, протекая по заземляющей части к земле. На него оказывает влияние поверхность электрода заземления (окислы на металлической поверхности), а также сопротивление почвы, главным образом вблизи поверхности электрода заземления.



Электрод заземления

Материал почвы (сопротивление материала почвы)

Поверхность электрода заземления (сопротивление заземления)

Рис. 25. Электрод заземления

Если существует неисправность в установке или присоединенной нагрузке, ток который протекает через электрод заземления, вызывает падение напряжения на сопротивлении заземления. Часть этого напряжения, называется «конусом» напряжения и доказывает, что большая часть сопротивления заземлению сконцентрировано на поверхности заземлителя (см. рисунок ниже).

Показаны также напряжение соприкосновения и шаговое напряжение, возникающие в результате протекания тока по сопротивлению заземления.

Шаговое напряжение

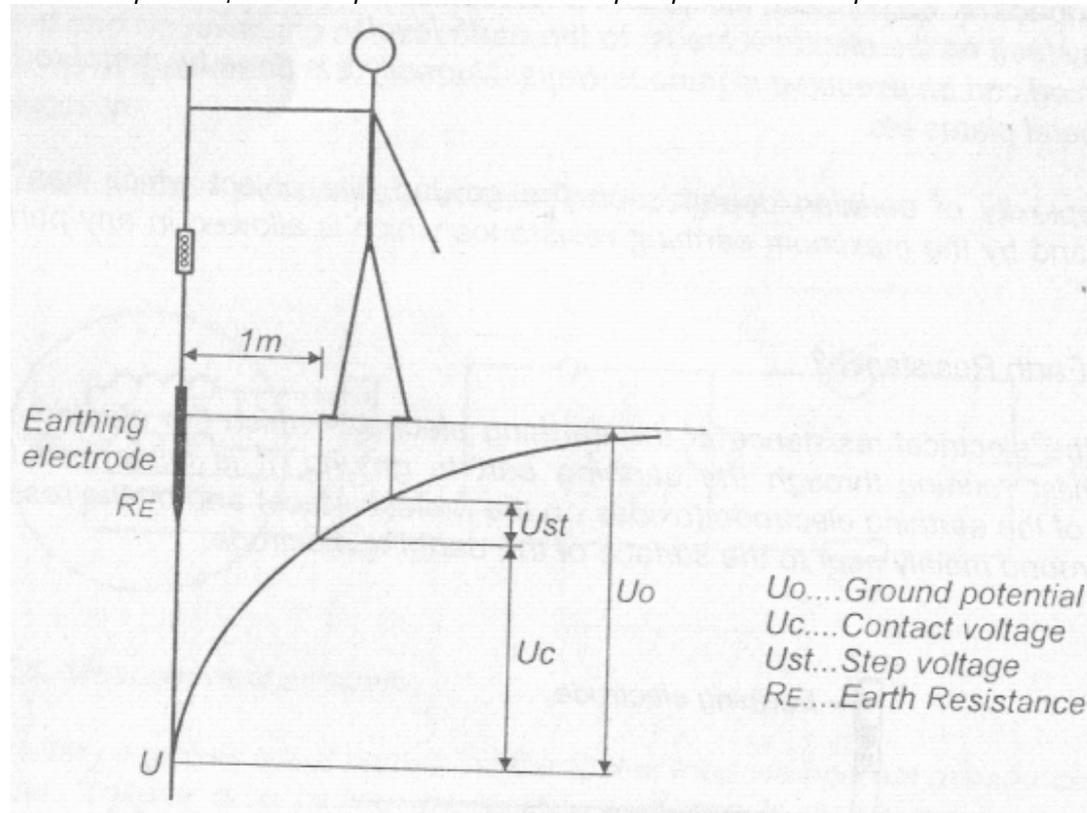
измеряется в критической области вокруг электрода заземления. Измерение проводится между двумя металлическими измерительными электродами по 25 кг и с соответствующей поверхностью 200 см² каждый.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Два электрода помещаются на расстоянии 1 м друг от друга.

Напряжение соприкосновения

измеряется между электродом заземления и двумя измерительными электродами (подобным тем, которые применяются при измерении шагового напряжения), соединенным вместе и размещенным на расстоянии 1 м от проверенного электрода заземления.



Электрод заземления

U_0 потенциал земли

U_c ... напряжение соприкосновения

U_{st} ... шаговое напряжение

R_e сопротивление земли

Рис. 26. Распределение напряжения на сопротивлении земли – «конус» напряжения

Общие соображения относительно измерения сопротивления земли

Имеются различные системы заземления, часто встречаемые у пользователей, а также различные принципы измерения с их преимуществами и ограничениями.

Измерительные приборы Eurotest 61557, Instaltest 61557 и Earth-Insulation Tester, производимые METREL, используют несколько принципов (не все принципы используются всеми испытательными приборами), например:

- **Метод со внутренним генератором (синусоида) и двумя измерительными электродами.**

Использование синусоидального измерительного сигнала имеет явное преимущество по сравнению с использованием прямоугольного сигнала. Особенно он применяется при измерении систем заземления, имеющих индуктивную компоненту в дополнении к активному сопротивлению. Это наиболее характерно там, где соединение с заземлением сделано при помощи металлических полос, обходящих вокруг объекта. Это – предпочтительный метод, при условии, что физические условия позволяют его реализовать.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Этот метод используется в Eurotest 61557 и Earth-Insulation Tester.

- **Метод, использующий внешнее измерительное напряжение без вспомогательного измерительного электрода.**

Этот метод обычно используется при измерении сопротивления заземления в ТТ системах, где сопротивления заземления намного выше, чем сопротивление других частей петли повреждения, в которой проводятся измерения, между фазным и защитным зажимами. Преимущество этого метода в том, что не требуется использование вспомогательных измерительных электродов, что особенно ценно в городских условиях, где не достаточно пространства земли для испытательных электродов.

И Eurotest 61557, и Instaltest 61557 используют этот метод.

- **Метод, использующий внешнее измерительное напряжение и вспомогательный измерительный электрод.**

Преимущество этого метода в том, что в TN системах может быть получен точный результат, где сопротивления петли повреждения между фазными и защитными проводниками довольно низки.

Eurotest 61557 использует этот метод.

- **Метод, использующий внутренний генератор, два измерительных электрода и одни измерительные клещи**

В этом методе нет никакой необходимости механически разъединять любой электрод заземления, который может быть присоединен в параллель с испытательным электродом.

Eurotest 61557 и Earth-Insulation Tester, оба используют этот метод.

- **Бесстержневой метод, использующий двое измерительных клещей**

В случаях, когда проводят измерения в сложной заземляющей системе (с многочисленными параллельными электродами заземления) или когда есть вторичная система заземления с малым сопротивлением заземления, этот метод позволяет Вам выполнить бесстержневые измерения. Преимущество этого метода в том, что нет необходимости возбуждать измерительные электроды и разделять измеряемые электроды.

Eurotest 61557 и Earth-Insulation Tester используют этот метод.

Внимание!

- Необходимо знать, что в системах заземления, подвергаемых измерениям, часто присутствуют высокоуровневые сигналы помех. Это необходимо особенно учитывать на заземляющих системах в промышленности и силовых трансформаторах и т.д., где большие токи **дренажа** могут течь к земле. Большие блуждающие токи, часто существующие в области вокруг электродов заземления, особенно вблизи высоковольтных распределительных сетей, железных дорог и т.д. Качество измерительного прибора доказываемая его характеристиками при таких условиях окружающих сред. Eurotest 61557, Instaltest 61557 и Earth-Insulation Tester используют патентованные методы измерения, которые доказывают, что точные результаты получаются даже в условиях, когда сопоставимые конкурентоспособные приборы будут не в состоянии выполнить измерения.
- Для успешного измерения сопротивления заземления, использующего испытательные электроды важно, чтобы сопротивление измерительных электродов (ток и напряжение) не было слишком большим.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

По этой причине вышеупомянутые инструменты, производимые METREL, проверяют оба электрода перед выполнением измерения. Следовательно нет никакой необходимости менять ручную токовую (C2) и потенциальную (P2) испытательные провода и повторять измерение. Если испытательный инструмент проверяет только сопротивление электрода, то каждое измерение должно быть повторено при реверсивном включении вспомогательных тестовых электродов P2 и C2.

Максимально допустимая величина сопротивления заземления RE отличается от случая к случаю. Существенным является то, что системы заземления в комбинации с другими защитными элементами (например, УЗО (RCD приборы), приборы защиты от сверхтока и т.д.) должны препятствовать возникновению опасных напряжений прикосновения.

Основное измерение сопротивления заземления использует метод внутреннего генератора и два измерительных электрода (потенциальный и токовый). Измерение основывается на так называемом методе 62 %.

Для этого измерения важно, чтобы измеряемый электрод заземления отделялся от других параллельных заземлений типа металлических конструкций и т.д.; Это должно приниматься во внимание, потому, что когда проводник отделен от электрода заземления, то ток утечки или повреждения, текущий к земле, может привести к возникновению опасной ситуации.

Метод измерения, использующий классический четырехпроводный метод с двумя электродами

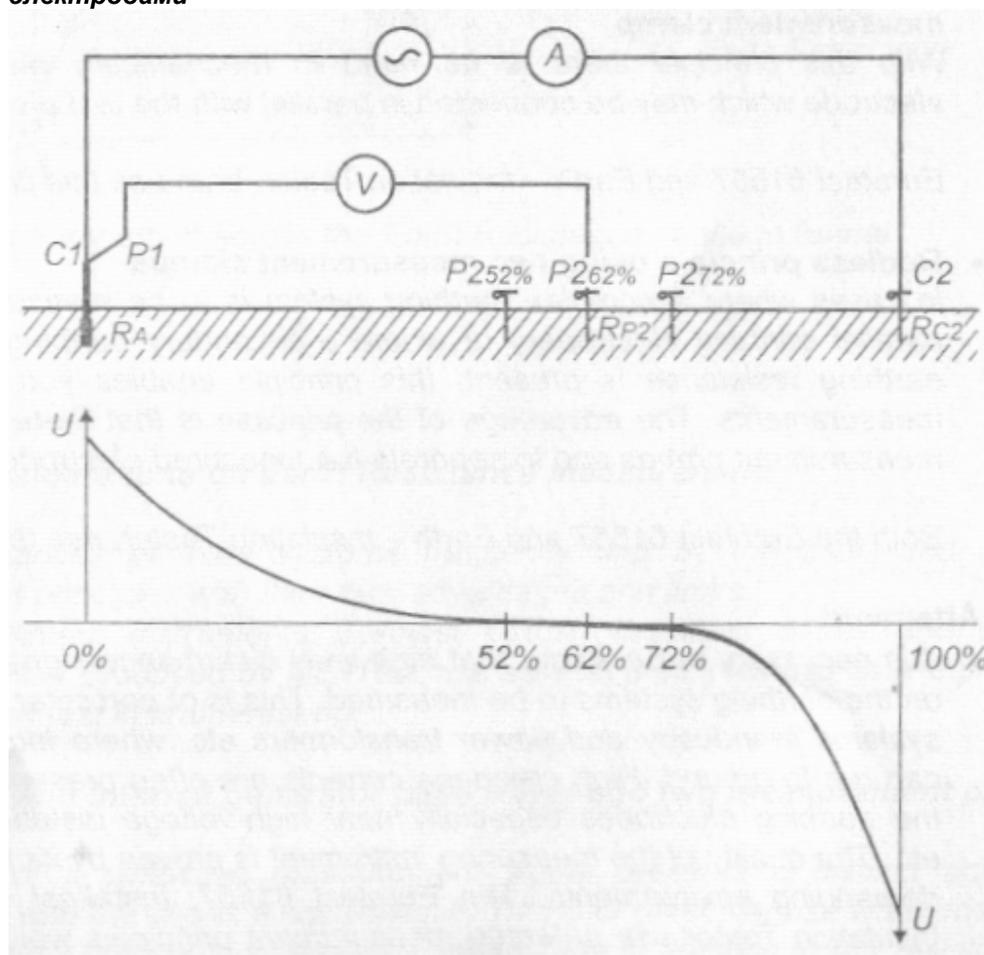


Рис. 27. Принцип измерения и распределения испытательного напряжения

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Вычисление требуемого расстояния между проверяемой системой заземления (простой стержень или простой полосовой электрод)

Исходные данные для вычисления – глубина (длина) простого стержневого электрода или значение диагонали полосовой заземляющей системы.

- Расстояние от проверяемого электрода заземления до текущего измерительного электрода $C2$ = глубина (длина) (стержневой электрод) или диагональ (полосовой электрод) * 5
- Расстояние до измерительного электрода напряжения $P2$ (62 %) = Расстояние $C2$ * 0,62
- Расстояние до измерительного электрода напряжения $P2$ (52 %) = Расстояние $C2$ * 0,52
- Расстояние до измерительного электрода напряжения $P2$ (72 %) = Расстояние $C2$ * 0,72

Пример: система заземления полосового типа, диагональ = 4 м.

$$C2 = 4 \text{ м} * 5 = 20 \text{ м}$$

$$P2 (62 \%) = 20 \text{ м} * 0,62 = 12,4 \text{ м}$$

$$P2 (52 \%) = 20 \text{ м} * 0,52 = 10,4 \text{ м}$$

$$P2 (72 \%) = 20 \text{ м} * 0,72 = 14,4 \text{ м}$$

Вычисление конечно только теоретическое. Чтобы убедиться, что расчетные расстояния соответствуют фактической ситуации заземления, должна быть проведена следующая измерительная процедура.

Первое измерение должно быть сделано на потенциальном электроде, который вводится в землю на расстоянии $0,62 * C2$. Измерение должно быть повторено при расстояниях $0,52 * C2$ и $0,72 * C2$. Если результаты повторных измерений не отличаются от первого более, чем на 10 % первого измерения ($0,62 * C2$), то тогда первый результат может рассматриваться как правильный. Если разность превышает 10 %, то оба расстояния ($C2$ и $P2$) должны быть пропорционально увеличены и все измерения повторены.

Рекомендуется, чтобы измерения были повторены при различных расположениях испытательных стержней, а именно испытательные стержни должны быть размещены в противоположном направлении от проверяемого электрода (180° или по крайней мере 90°). Окончательный результат - среднее число двух или больше промежуточных результатов.

Так как в действительности системы заземления могут быть достаточно сложными, несколько систем могут быть соединены вместе или под или над уровнем земли, система может быть физически чрезвычайно обширной, целостность системы обычно не может быть визуалью проверена и т.д., то измерение сопротивления заземления может быть одним из наиболее необходимых измерений. Именно поэтому выбор соответствующего испытательного прибора очень важен.

Идентифицируйте тип заземления системы перед непосредственным началом измерений. На основании типа системы должен быть выбран соответствующий метод измерения.

Несмотря на выбранный метод, результат испытаний должен быть откорректирован, прежде чем сравнивать его с допускаемым значением, см. главу 5.

Далее разберем примеры практических измерений для различных типов систем заземления.

5.5.1. Измерение простого стержневого электрода заземления

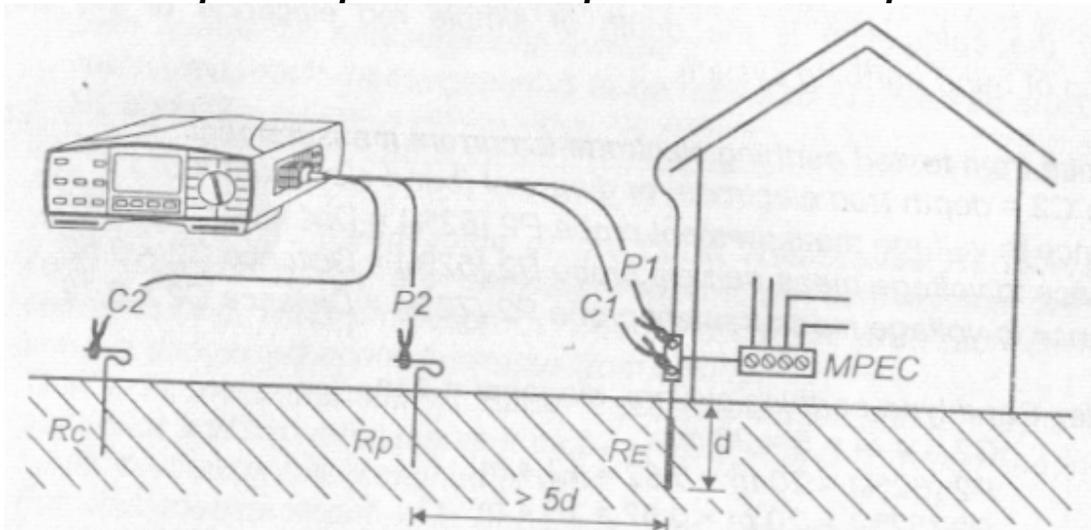


Рис. 28. Измерение сопротивления заземления простого стержневого электрода заземления

Результат = $U / I = RE$

где

U напряжение, измеренное внутренним вольтметром между испытательными зажимами P1 и P2

I испытательный ток, подаваемый в испытательную петлю через испытательные зажимы C1 и C2.

Измерение довольно простое из-за того, что электрод заземления можно рассматривать как одноточечный электрод, не соединенный ни с каким другим электродом. Расстояния между проверяемым электродом и испытательными электродами (токовыми и потенциальными) зависят от глубины проверяемого электрода.

Использование 4-зажимного подключения, которое поддерживается испытательными приборами METREL, намного лучше, чем 3-зажимный метод, так как не имеется никаких проблем относительно контактного сопротивления между испытательными зажимами и обычно ржавой поверхностью испытываемого электрода.

Измерительные электроды обычно вводятся в землю по одной линии с испытываемым электродом или в равностороннем треугольнике.

5.5.2. Измерение простого полосового электрода заземления

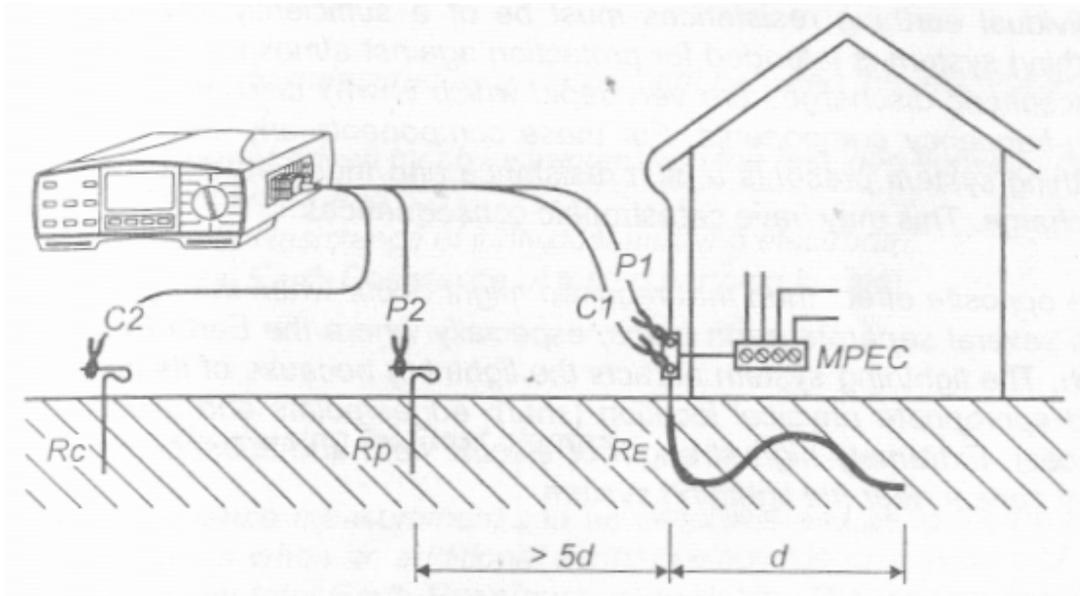


Рис. 29. Измерение сопротивления заземления простого стержневого электрода заземления

Результат = $U / I = RE$

где

U напряжение, измеренное внутренним вольтметром между испытательными зажимами $P1$ и $P2$

I испытательный ток между испытательными зажимами $C1$ и $C2$.

Измерение подобно предыдущему за исключением того, что электрод не может рассматриваться как одноточечный, но должна приниматься во внимание длина используемой полосы. На основе длины должно быть вычислено и использоваться соответствующее расстояние от испытуемого электрода до обоих испытательных электродов, см. рисунок выше.

Измерительные электроды обычно вводятся в землю по одной линии с испытуемым электродом или в равностороннем треугольнике.

5.5.3. Измерение сложных систем заземления с несколькими параллельными электродами

Два важных аспекта должны приниматься во внимание в таких системах:

- Общее сопротивление системы заземления $Retot$ определяется параллельным соединением отдельных электродов заземления. Достаточно малое общее сопротивление заземления удовлетворяет требованиям успешной защиты от электрического удара при повреждении нагрузки, но не может служить успешной защитой от прохождения атмосферных разрядов через громоотвод.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

- Сопротивление отдельных электродов заземления $RE1 \dots REN$.

Индивидуальные сопротивления заземления должны иметь достаточно низкое значение, если система заземления предназначена для защиты от атмосферных разрядов. Атмосферные разряды очень быстры, из-за чего токи разрядов содержат высокочастотные компоненты. Для этих компонентов любая индуктивность в пределах системы заземления представляет высокое сопротивление и поэтому препятствует успешному разряду. Это может иметь катастрофические последствия.

Противоположный результат, чем требуется, может произойти, когда громоотвод имеет несколько отдельных путей заземления, особенно, если сопротивление заземления слишком велико. Громоотвод притягивает молнию из-за своей геометрической формы и соответствующего физического размещения (острые кромки/точки и обычно размещение на самых высоких местах). Чрезвычайно высокая сила электрического поля и последующая ионизация воздуха может появляться около системы молниеотвода.

Измерение полного сопротивления заземления

- а) Классический четырехпроводный, двухэлектродный метод

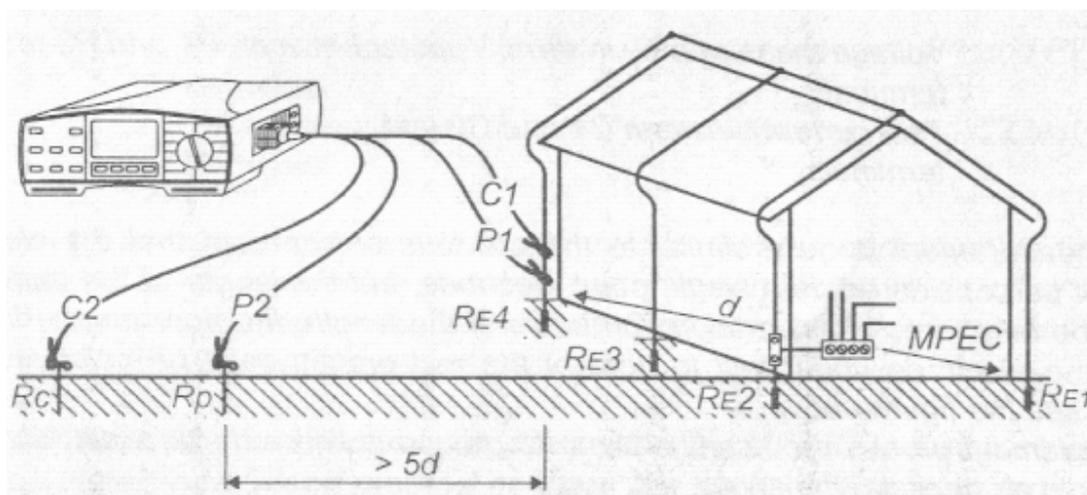


Рис. 30. Измерение полного сопротивления заземления сложной системы заземления при использовании классического четырехпроводного, двухэлектродного метода

Потенциальные и токовые измерительные электроды вкапываются в грунт достаточно далеко от измеряемой системы, так что ее можно рассматривать как точечную систему. Требуемое расстояние от токового электрода должно быть по крайней мере в пять раз больше, чем самое длинное расстояние между отдельными электродами заземления. Расстояние до потенциального электрода определяется в соответствии с главой: Вычисление требуемого расстояния между проверяемой системой заземления (простой стержень или простой полосовой электрод) на странице 35.

Преимущество этого метода состоит в том, что он обеспечивает точные и надежные результаты испытаний, хотя его недостаток в том, что он требует относительно больших расстояний для размещения измерительных электродов, что может вызывать некоторые проблемы (особенно в городской среде).

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Результат $= U/I = R_{E1} // R_{E2} // R_{E3} // R_{E4} = Retot$

где

U напряжение, измеренное прибором между испытательными электродами $P1$ и $P2$

I ток, возбуждаемый прибором в измерительной петле между испытательными электродами $C1$ и $C2$.

$R_{E1} \dots R_{E4}$ сопротивление заземления отдельного электрода заземления.

$Retot$ полное сопротивление заземления проверяемой системы заземления.

б) бесстержневой метод, использующий двое испытательных клещей

Измерение сопротивления заземления может быть упрощено и выполнено без использования заземляющих штырей, если доступны дополнительный электрод заземления или электроды системы заземления с низким полным сопротивлением заземления. Измерение может быть выполнено с использованием двух испытательных клещей, если доступен измерительный прибор типа Eurotest 61557 или Earth-Insulation Tester.

Такие случаи обычно встречаются в районах застроек, где также присутствуют другие системы заземления с низким сопротивлением заземления (например, металлическую полосу, установленная вокруг заземленного сетевого кабеля).

Ниже показана модель такой системы заземления и подключения контрольно-измерительного прибора

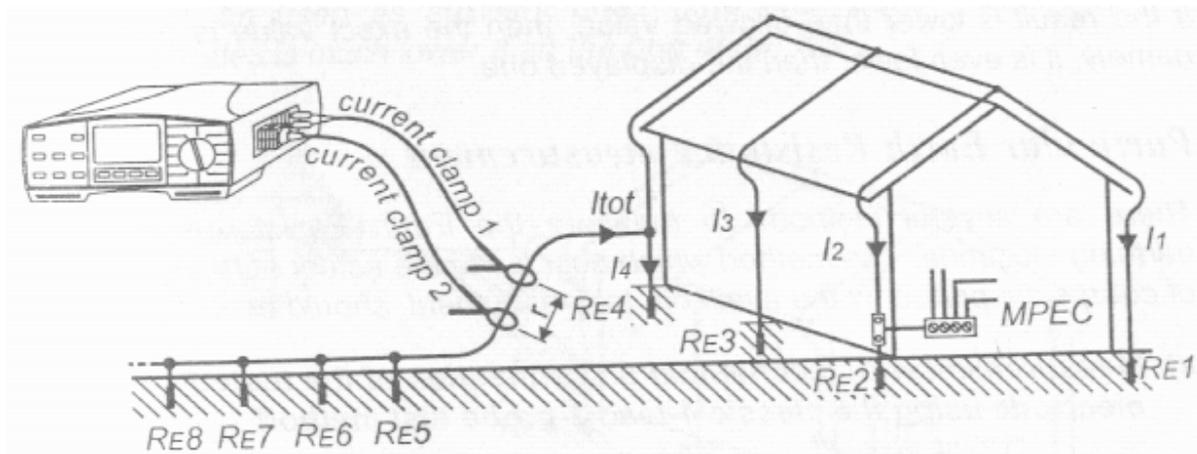


Рис. 31. Измерение полного сопротивления заземления с использованием двух испытательных клещей

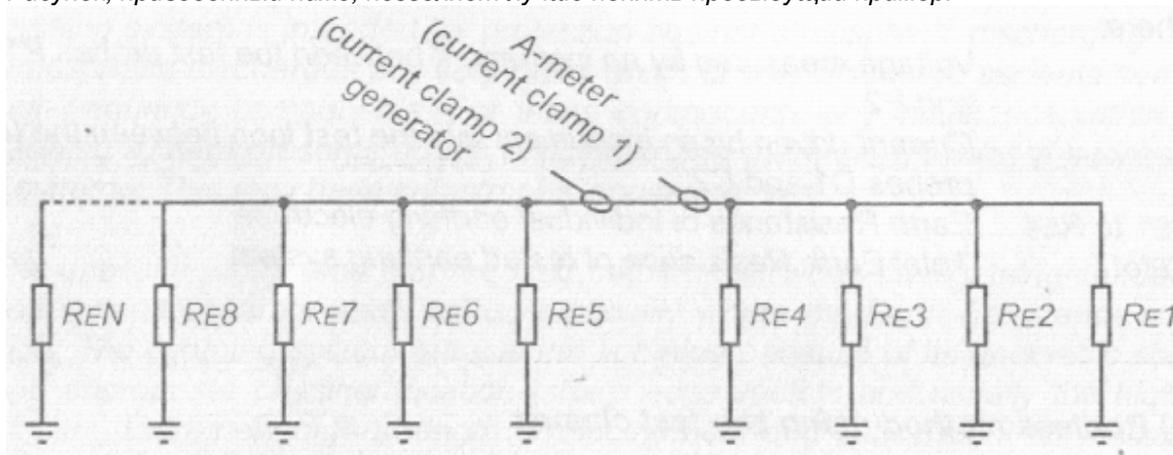
$R_{E1} \dots R_{E4}$ индивидуальные сопротивления заземления испытуемой системы заземления.

$R_{E5} \dots R_{EN}$ индивидуальные сопротивления заземления вспомогательной системы заземления с малым полным сопротивлением заземления.

r расстояние между измерительными клещами, которое должно быть не менее 30 см, иначе клещи, подсоединенные к генератору, могут влиять на измерительные клещи.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Рисунок, приведенный ниже, позволяет лучше понять предыдущий пример.



Амперметр (токовые клещи 1)

Генератор (токовые клещи 2)

Рис. 32. Электрическая схема замещения предыдущего примера

Результат = (суммарное активное сопротивление электродов заземления $R_{E1} \dots R_{E4}$) + (общее активное сопротивление вспомогательных электродов заземления $R_{E5} \dots R_{EN}$)

Если можно допустить, что суммарное сопротивление вспомогательных электродов $R_{E5} \dots R_{EN}$ намного меньше, чем суммарное сопротивление измеряемых электродов $R_{E1} \dots R_{E4}$, то можно записать следующее:

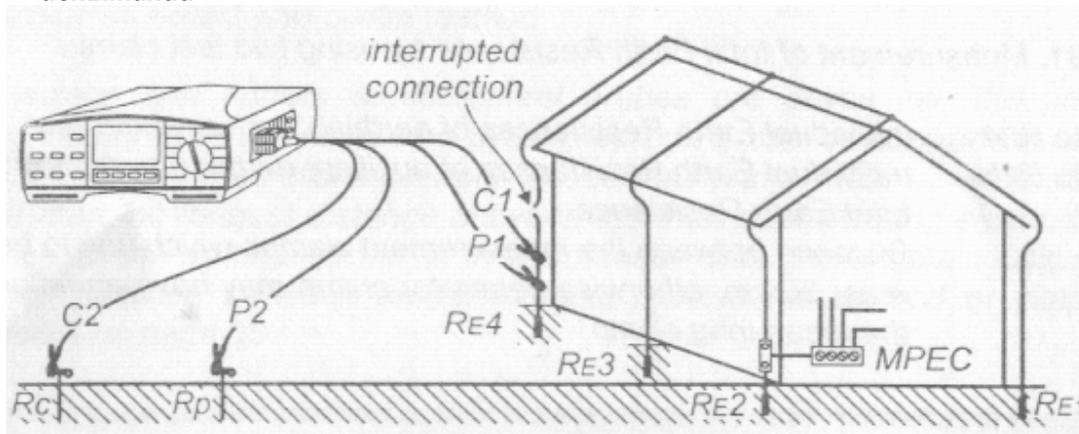
Результат \approx (суммарное сопротивление измеряемых электродов заземления $R_{E1} \dots R_{E4}$)

Если результат меньше, чем допускаемое значение, то точное значение заведомо безопасно, так как оно меньше, чем отображаемый результат.

Измерение отдельных сопротивлений заземления

Имеется несколько методов для измерения сопротивления заземления отдельных электродов заземления. Должен использоваться тот метод, который лучше соответствует фактической системе заземления и, конечно, поддерживается доступным контрольно-измерительным прибором.

а) Измерение с механическим разъединением испытуемого электрода заземления с использованием классического четырехпроводного, двухэлектродного метода испытаний



Разъединение

Рис. 33. Измерение сопротивления заземления определенного электрода заземления

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Результат = $U / I = R_{E4}$

где

U ...напряжение, измеренное внутренним вольтметром между испытательными зажимами $P1$ и $P2$
 Iиспытательный ток, возбуждаемый в испытуемой петле между испытательными зажимами $C1$ и $C2$.

Требуемое **расстояние между проверяемым электродом и обоими испытательными электродами** - такое же самое, как и для простого стержневого электрода или простого полосового электрода, в зависимости от используемого типа электрода.

Недостаток этого метода в том, что механическое разъединение должно выполнено до начала **измерения**. Разъединение может быть проблематичным из-за возможных ржавых соединений, преимущество метода - высокая точность и надежность **результата испытаний**.

б) измерение с механическим разъединением проверяемого электрода заземления с использованием классического четырехпроводного, двухточечного метода испытаний

Если число электродов заземления достаточно велико, то может быть использован упрощенный безэлектродный метод, см. рисунок ниже.

Испытуемый электрод должен быть механически отсоединен и все остальные электроды будут использоваться как вспомогательные электроды. Суммарное сопротивление заземления вспомогательных электродов - намного меньше, чем сопротивление испытуемого электрода.

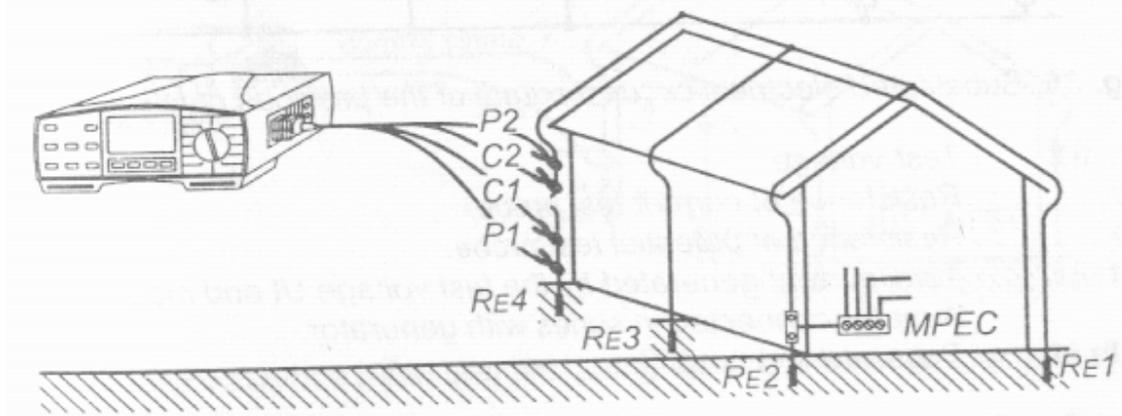


Рис. 34. Упрощенное безэлектродное измерение

Результат = $R_{E4} + (R_{E1} // R_{E2} // R_{E3})$

Если $(R_{E1} // R_{E2} // R_{E3})$ намного меньше, чем проверяемое R_{E4} , то можно записать:

Результат $\approx R_{E4}$

Измерения в электроустановках в теории и на практике

с) измерение с использованием классического четырехпроводного двухэлектродного метода испытаний в комбинации с испытательными клещами

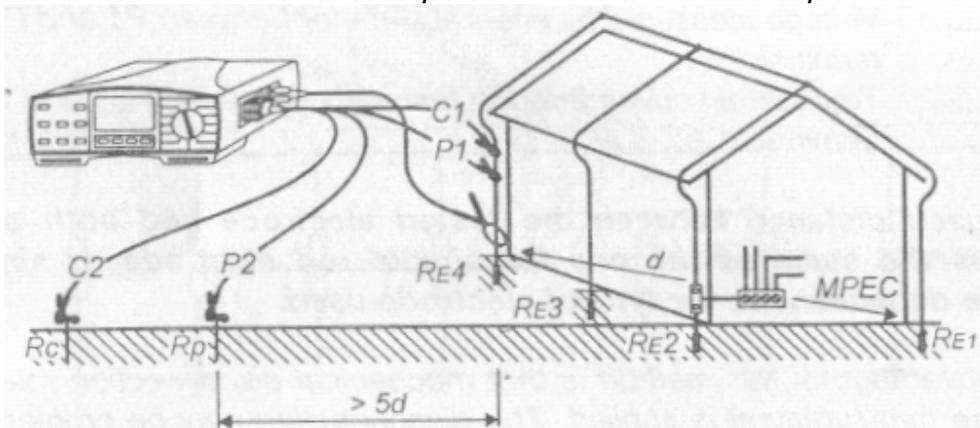


Рис. 35. Измерение сопротивления заземления, использующее одни испытательные клещи

Электрическая схема замещения вышеупомянутого примера представлена на рисунке ниже

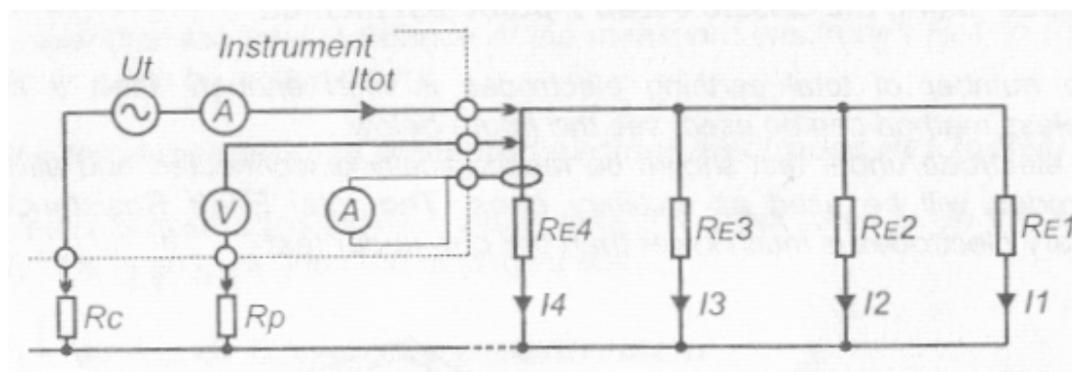


Рис. 36. Электрическая схема замещения предыдущего практического примера

U_t испытательное напряжение

R_c сопротивление токового испытательного электрода

R_p сопротивление потенциального испытательного электрода

I_{tot} суммарный ток, сгенерированный испытательным напряжением U_t и измеренный амперметром, соединенным последовательно с генератором

$I_1 \dots I_4$отдельные испытательные токи.

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = I_{tot}$$

Результат 1 = R_{E4} (учитывается ток, измеренный испытательными клещами)

Результат 2 = R_{tot} (учитывается суммарный ток, измеренный амперметром)

Преимущество этого метода в том, что нет необходимости в механическом разъединении испытуемого электрода.

Перемещение испытательных клещей от электрода к электроду позволяет измерять только ток, текущий в испытуемом электроде заземления. Используя измеренное значение этого тока, тока, измеренного внутренним амперметром и напряжение, измеренное внутренним вольтметром, вычисляется индивидуальное сопротивление заземления.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Для того, чтобы гарантировать точное измерение напряжения, расстояние от проверяемого электрода до токового электрода должно быть по крайней мере в 5 раз дальше, чем самое большое расстояние между отдельными электродами проверяемой системы.

Внимание!

- Из-за больших расстояний между отдельными электродами часто невозможно перемещать испытательные клещи от электрода к электроду! Необходимо перемещать прибор с его испытательными проводниками.
- Если имеется большое количество электродов в испытуемой системе заземления, то может случиться, что ток, измеряемый испытательными клещами в электроде, слишком мал. В этом случае испытательный прибор уведомит о неблагоприятной ситуации.

д) безэлектродное измерение, использующее двое испытательных клещей

При тестировании часто встречаются сложные системы заземления с многочисленными электродами, соединенными в параллель (см. рисунок ниже), или системы, связанные с другими системами заземления (см. рисунок 39). Кроме того, в районах застроек может оказаться трудным или невозможным поместить в землю испытательные электроды. В этих случаях рекомендуется безэлектродный метод.

И Eurotest 61557, и Earth-Insulation Tester могут выполнять измерения даже при наличии сильных сигналов помех, потому что оба используют специальное **патентованное** техническое решение.

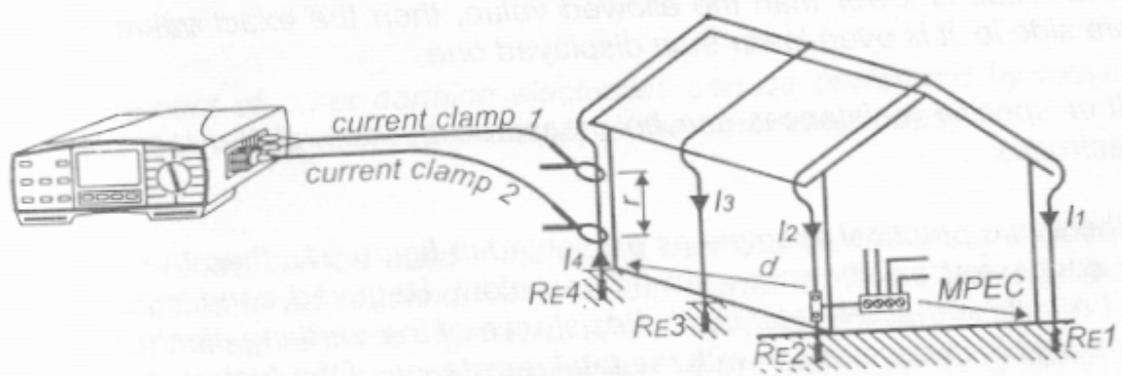
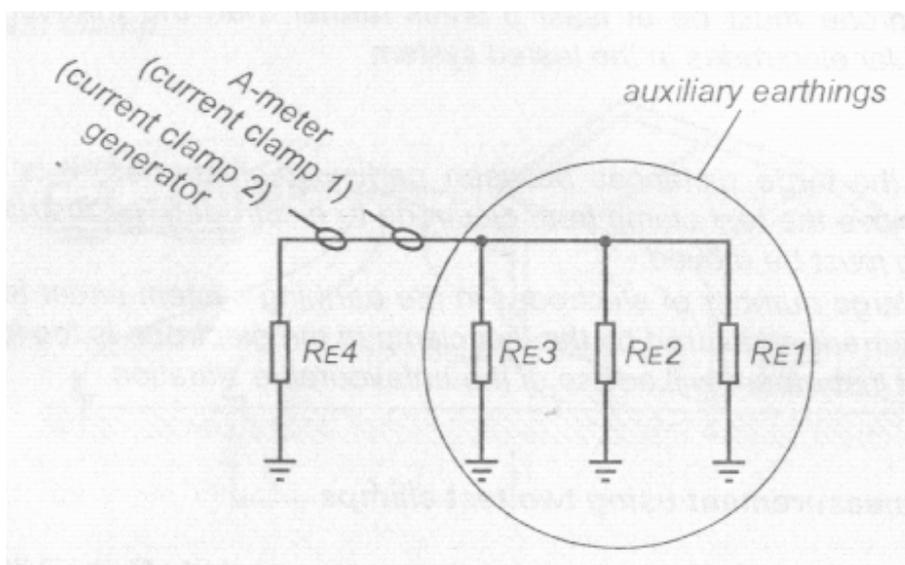


Рис. 37. Измерение сопротивления заземления, использующее безэлектродный двухклещевой метод

Внимание!

- Важно убедиться, что минимальное расстояние между двумя испытательными клещами не менее 30 см, иначе двое клещей будут влиять друг на друга и исказить отсчет.

Ниже приведена электрическая схема замещения вышеприведенного примера.



Вспомогательные заземления

Рис. 38. Электрическая схема замещения в предыдущем практическом примере

Результат $= R_{E4} + (R_{E3} // R_{E2} // R_{E1})$

Если суммарное сопротивление заземления параллельно соединенных электродов R_{E3} , R_{E2} и R_{E1} намного меньше сопротивления проверяемого электрода R_{E4} , то можно заключить следующее:

Результат $\approx R_{E4}$

Если результат меньше, чем допускаемое значение, то точное значение заведомо безопасно, так как оно меньше, чем отображаемый результат.

Остальные индивидуальные сопротивления могут быть измерены, если перемещать испытательные клещи к другим электродам.

В случае практического примера, представленного на рисунке 31 испытательные клещи могут быть соединены, как показано на рисунке ниже. Требуемые условия для приемлемых результатов испытаний – это то, что суммарное сопротивление заземления электродов заземления $R_{E5} \dots R_{EN}$ пренебрежимо мало по сравнению с суммарным сопротивлением тестируемого объекта $R_{E1} \dots R_{E4}$.

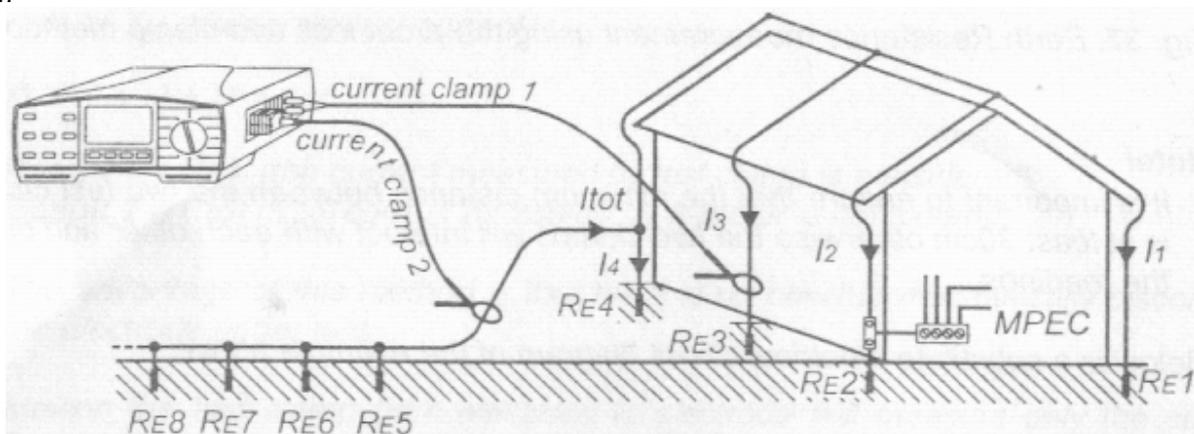


Рис. 39. Безэлектродное измерение сопротивления заземления, использующее двое испытательных клещей.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Подключение подобно тому, что показано на рисунке 31, за исключением того, что токовые измерительные клещи подсоединяются к определенному проводнику заземлением и поэтому измеряется сопротивление заземления этого электрода.

Электрическая схема замещения для вышеупомянутого примера представлена на рисунке ниже

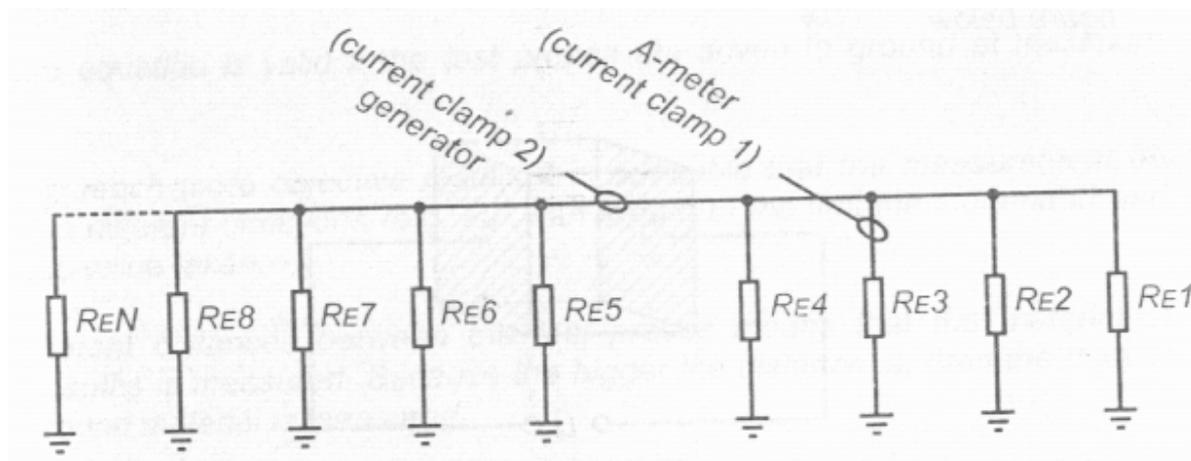


Рис. 40. Электрическая схема замещения для предыдущего практического примера

Если суммарное сопротивление вспомогательных заземлений $R_{E5} \dots R_{EN}$ намного меньше, чем суммарное сопротивление электродов $R_{E1} \dots R_{E4}$, то можно записать следующее:

Результат $\approx R_{E3}$

Измерение других электродов заземления может быть выполнено перемещением испытательных клещей 1 (токовые измерительные клещи) к другим электродам.

Замечания!

- Этот метод может быть использован, если отдельные электроды заземления достаточно близки друг к другу, чтобы их можно было достать испытательными клещами 1. Клещи генератора должны оставаться на том же самом месте независимо от измеряемого электрода.
- Если имеется большое количество электродов в испытываемой системе заземления, то может случиться, что ток, измеряемый испытательными клещами в электроде, слишком мал. В этом случае испытательный прибор уведомит о неблагоприятной ситуации

Методы измерения сопротивления заземления, использующие внешнее испытательное напряжение описаны в главе 3.8.4. под заголовком «УЗО (RCD защитные устройства)».

5.6. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЗЕМЛИ (УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ) EN 61557-5

Что такое удельное сопротивление земли?

Это - сопротивление материала земли, имеющего форму куба $1 \times 1 \times 1$ м, если измерительные электроды размещены на противоположных сторонах куба, см. рисунок ниже.

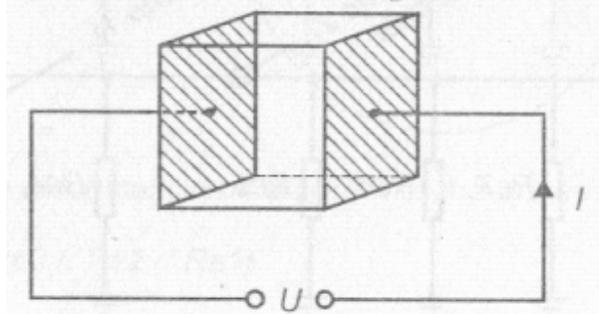


Рис. 41. Представление удельного сопротивления земли

Измерение удельного сопротивления земли

Измерение проводится для того, чтобы обеспечить более точный расчет систем заземления, например, опоры высоковольтных распределительных сетей, большие промышленные предприятия, системы молниезащиты и т.д.

Должно использоваться испытательное напряжение переменного тока, так как при использовании испытательного напряжения постоянного тока возможны электрохимические процессы в измеряемом материале земли.

Значение удельного сопротивления земли выражается в Ом м, его абсолютная величина зависит от структуры материала земли.

Принцип измерения представлен на рисунке ниже.

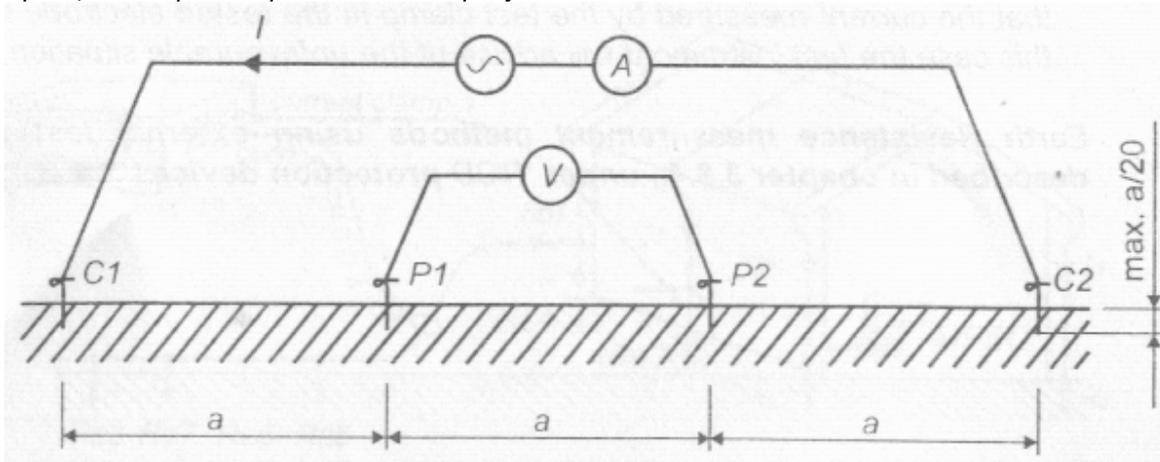


Рис. 42. Принцип измерения.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

$$\text{Результат} = 2 \pi a U / I = \rho$$

где

- a расстояние между испытательными электродами
 U напряжение, между испытательными электродами $P1$ и $P2$, измеренное вольтметром
 I испытательный ток, возбуждаемый генератором переменного тока и измеренный амперметром.
 ρ удельное сопротивление земли

Вышеупомянутое уравнение справедливо, если испытательные электроды погружены в землю максимум на $a/20$.

Для достижения более объективных результатов желательно, что измерение было повторено в различных направлениях (например, 90° по отношению к первому измерению) и была взята средняя величина.

Использование различных расстояний между испытательными электродами означает, что измеряется материал на различных глубинах. Поэтому, чем большее расстояние, тем более глубокий уровень материала земли измеряется.

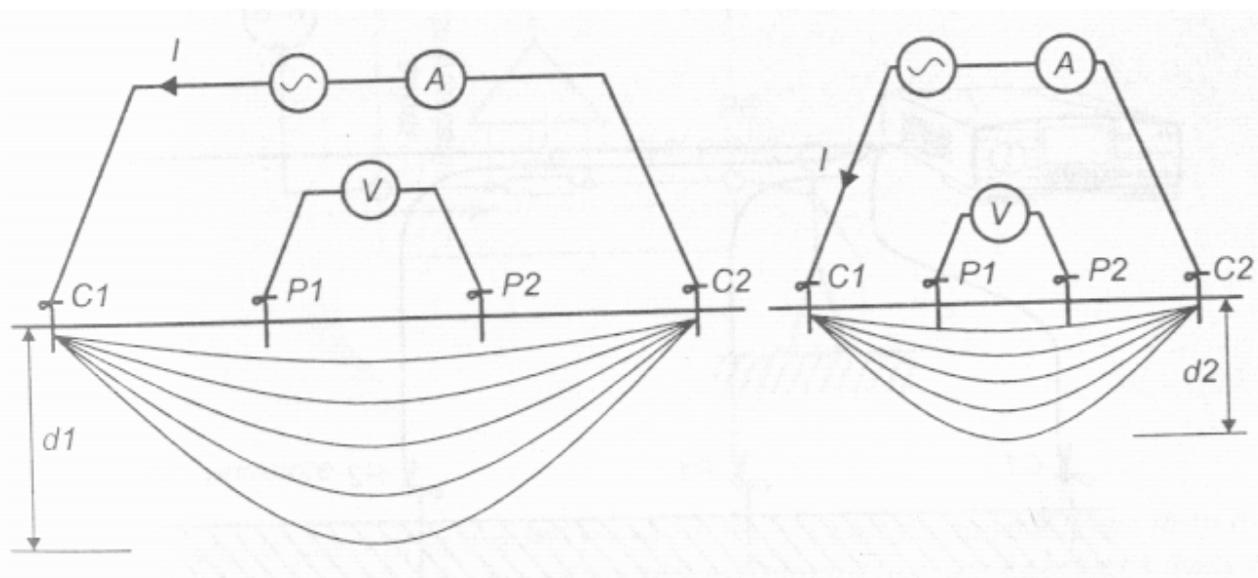


Рис. 43. Влияние расстояния a на измеряемую глубину.

- $d1$ учитываемая глубина при большем расстоянии a между испытательными электродами
 $d2$ учитываемая глубина при меньшем расстоянии a между испытательными электродами

Электрод заземления должен быть расположен в том месте и на той глубине, где достигается самое низкое сопротивление земли (или по крайней мере, должен быть достигнут разумный компромисс). Вот почему результаты испытаний, полученные на различных глубинах, должны быть приняты во внимание.

Ко всему прочему может быть грубо определена также структура материала земли по измерениям удельного сопротивления земли.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Таблица, представленная ниже, представляет ориентировочные значения удельного сопротивления земли для нескольких типичных материалов земли

Тип материала земли	Удельное сопротивление земли в Ом м
Морская вода	0,5
Озерная или речная вода	10 – 100
Рыхлая земля	90 – 150
Бетон	150 – 500
Влажный гравий	200 – 400
Очень сухой песок	500
Известь	500 – 1000
Сухой гравий	1000 – 2000
Каменистое основание	100 - 3000

Таблица 3. Ориентировочные значения удельных сопротивлений земли для нескольких типичных материалов земли

Практическое измерение, использующее испытательный прибор Eurotest 61557 или Earth-Insulation Tester показано на рисунке ниже.

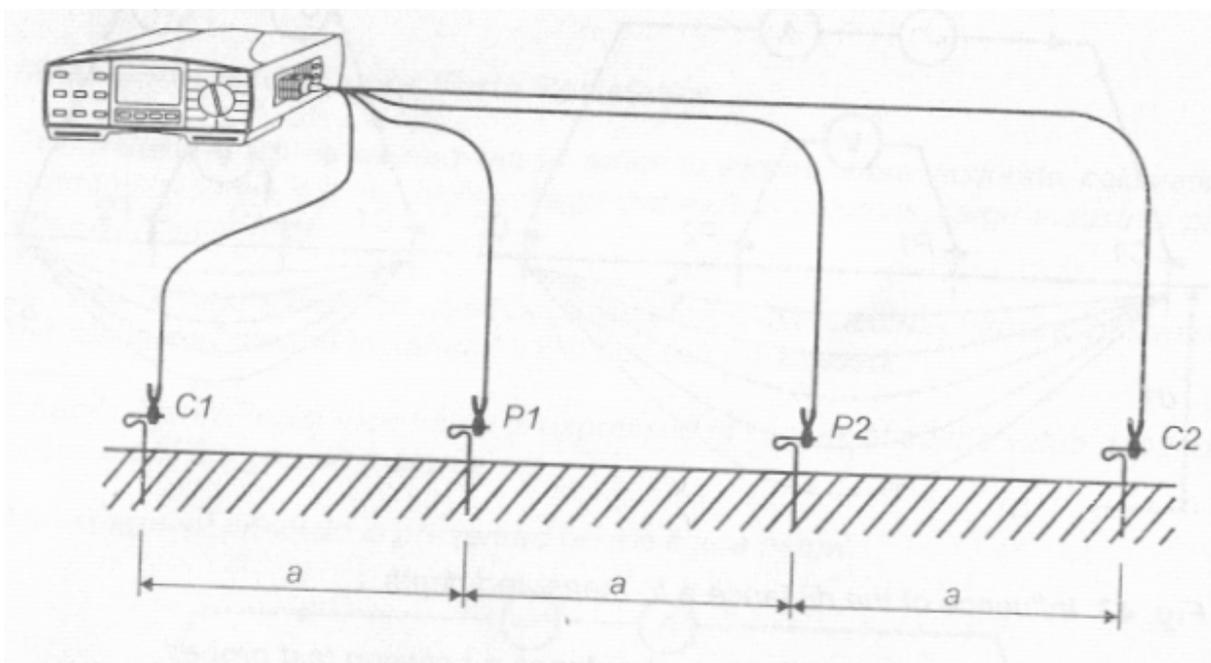


Рис. 44. Практическое измерение удельного сопротивления земли.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.7. ПОДСОЕДИНЕНИЕ ЗАЩИТНОГО ПРОВОДНИКА 'РЕ' К СЕТЕВОЙ РОЗЕТКЕ

В новых установках, также как и в адаптированных установках, может случиться, что PE проводник перепутан с фазным проводником. Это - очень опасная ситуация! Вот почему важно проверить, есть ли фазное напряжение на клемме PE. Тест должен проводиться перед любыми другими испытаниями, которые требуют наличия сетевого напряжения или перед использованием установки.

Eurotest 61557 будет делать это испытание всякий раз, когда палец оператора касается испытательного электрода PE, расположенного рядом с кнопкой START.

Давайте рассмотрим принцип испытания.

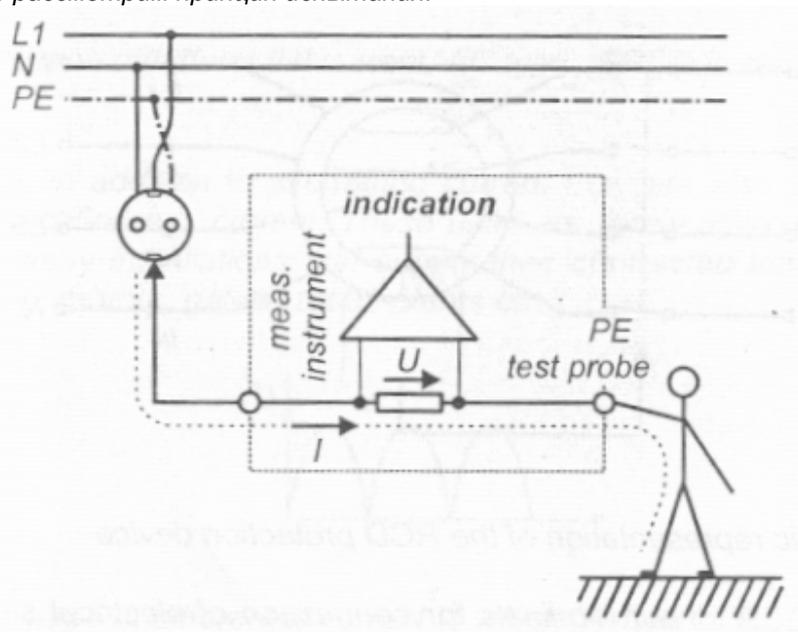


Рис. 45. Принцип испытания

Если фазное напряжение присутствует на клемме PE, то некоторый ток течет от клеммы через внутреннее сопротивление испытательного прибора и тело оператора к земле, как только палец оператора коснется тестового электрода PE. Ток вызывает определенное падение напряжения на внутреннем сопротивлении испытательного прибора, которое обнаруживается электронной схемой прибора.

Внимание!

- Если обнаружено присутствие фазного напряжения, остановите немедленно все дальнейшие действия и убедитесь, что ситуация сделана безопасной перед продолжением работы.
- Во время испытаний пользователь должен стоять на проводящем полу.

5.8. RCD УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ 61557- 6

RCD устройство - элемент защиты, предназначенный для защиты людей и животных от удара электрическим током. Он на основе определения разности между фазными токами, текущими к различным нагрузкам и возвращающимся током, текущим по проводнику нейтрали. Если разность больше, чем ток срабатывания установленного RCD устройства защиты, то устройство срабатывает и, таким образом, отключит сетевое напряжение. Вышеупомянутая разность токов должна течь к земле как ток утечки (через изоляцию или емкостную связь) или как ток повреждения (через поврежденную изоляцию или как частичный /полный ток короткого замыкания между открытыми и сторонними проводящими частями).

Такая защита эффективна только, если RCD устройство установлено правильно, если установка правильно **определена** и если значение сопротивления заземления меньше, чем допустимое значение для установленного RCD устройства.

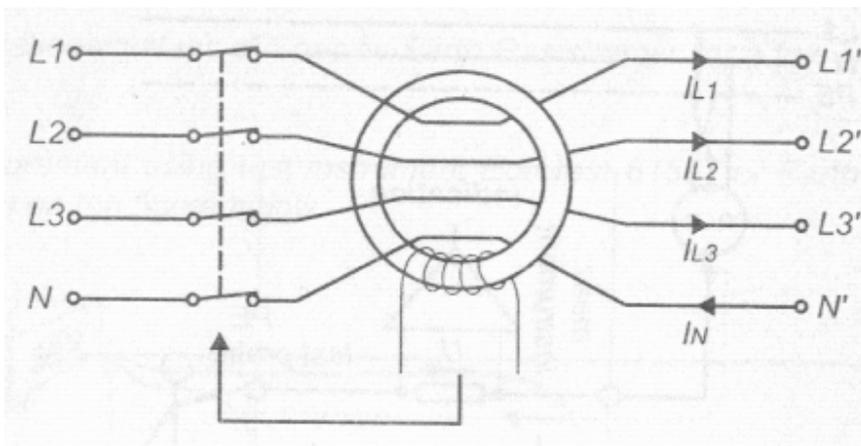


Рис. 46. Упрощенная схема RCD устройства защиты.

L1, L2, L3, N Входные клеммы для подсоединения электрической сети питания.
L1', L2', L3', N' Выходные клеммы для подсоединения к установке в строении.

$$I_{\Delta} = I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} - I_N$$

Вышеприведенная формула справедлива независимо от типа присоединенной нагрузки (однофазный, трехфазная трехпроводная, трехфазная четырехпроводная, симметричная, несимметричная).

Условие срабатывания RCD следующее:

$$I_{\Delta} \geq I_{\Delta \text{ trip}}$$

где

I_{Δ} дифференциальный ток, равный сумме токов повреждения и утечки.

$I_{\Delta \text{ trip}}$ ток срабатывания установленного RCD устройства.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Для того, чтобы гарантировать правильность работы при любой форме тока имеется три основных типа применяемых RCD устройств, а именно:

- **АС тип**, чувствительный к переменному дифференциальному току. Это - наиболее часто используемый тип из-за того, что большинство установок обеспечивают нагрузки переменным током.

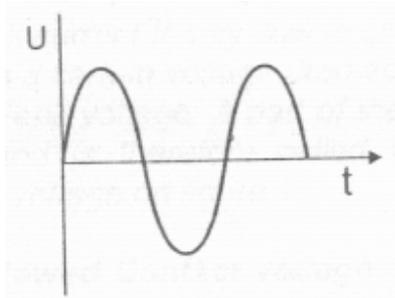


Рис. 47. Форма дифференциального тока, к которому чувствителен AC тип RCD.

- **A тип**, кроме переменного тока они также чувствительны к полупериодному или двухполупериодному выпрямленному току. Такие устройства редко используются на практике, так как немногие установки присоединены к нагрузкам с таким током (например, двигатели постоянного тока, гальванические цехи и т.д.).

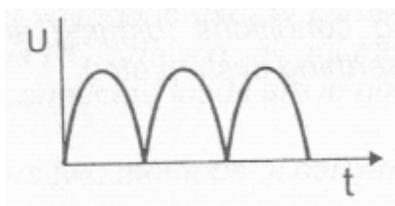


Рис. 48. Форма дифференциального тока, к которому также чувствителен 'A' тип RCD устройств

- **B тип**, кроме переменного тока, полупериодного или двухполупериодного выпрямленного тока они также чувствительны к почти постоянному или чисто постоянному току. Они редко используются на практике, так как есть только немного установок, которые снабжают нагрузки чисто постоянным током (например, полностью выпрямленное трехфазное напряжение и т.д.).

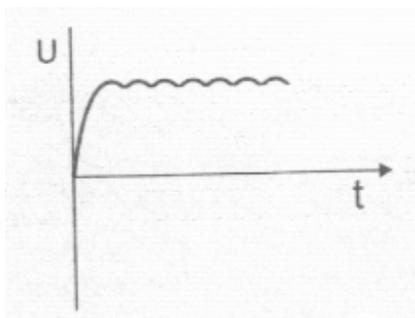


Рис. 49. Форма дифференциального тока, к которому также чувствителен 'B' тип RCD устройств.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

По времени срабатывания применяемые RCD устройства делятся на два типа, а именно:

- *Стандартный тип (мгновенное срабатывание)*
- *Селективный тип (срабатывание с задержкой)*

Для гарантирования успешной защиты при использовании RCD устройств должны быть проверены следующие параметры:

- *напряжение прикосновения U_c*
- *время срабатывания t_{Δ}*
- *ток срабатывания I_{Δ}*
- *сопротивление заземления R_E*

Все измерения вышеупомянутых параметров идеально необходимо проводить в сухих условиях, предпочтительно в летнее время создает, когда сопротивление земли достигает наивысшего значения. С другой стороны, измерения необходимо проводить периодически, например, раз месяц или:

- *После каждого срабатывания или*
- *После каждого короткого замыкания в установке или*
- *После значительных атмосферных разрядов или*
- *После проведения изменений в системе защиты или*
- *После изменений состояния заземления (земляные работы вокруг системы заземления, осушение области вокруг системы заземления и т.д.)*

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.8.1. Напряжение прикосновения

Что такое напряжение прикосновения?

Напряжение прикосновения - напряжение, которое может возникнуть при условии повреждения любой открытой проводящей части, которая может входить в контакт с человеческим телом.

Из-за повреждения нагрузки ток повреждения может течь к земле через защитный проводник. Ток повреждения вызывает некоторое падение напряжения на сопротивлении заземления R_E (ТТ-система), называемый напряжением повреждения. Часть напряжения повреждения может быть доступна человеческому телу и, следовательно, она называется напряжением прикосновения. См. схематическое представление напряжения прикосновения на рисунке 7.

Величина(ценность) максимума позволяла(выплачивала) напряжению прикосновения, назван Предельным напряжением (отмеченным как UL) и - обычно 50 В, хотя в некоторых случаях(делах) (сельская окружающая среда, больницы, помещения для ЭВМ и т.д.) это - только 25 В.

Измерение напряжения прикосновения U_c

Из соображений безопасности непрерывность защитных проводников и сопротивление изоляции должны быть измерены прежде, чем приступить к измерениям в любой цепи, связанной с работой RCD устройства.

Измерение напряжения прикосновения обычно проводят с использованием испытательного тока $I_{\Delta n}/2$ или $I_{\Delta n}/3$, при котором RCD устройство не будет срабатывать во время измерения (если RCD устройство, установка и присоединенные нагрузки находятся в хорошем рабочем состоянии).

Eurotest 61557 предлагает два метода выполнения измерения, а именно:

- без использования вспомогательного испытательного электрода
- с использованием вспомогательного испытательного электрода

а) Измерение напряжения прикосновения без использования вспомогательного испытательного электрода

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Принцип измерения представлен на двух рисунках ниже.

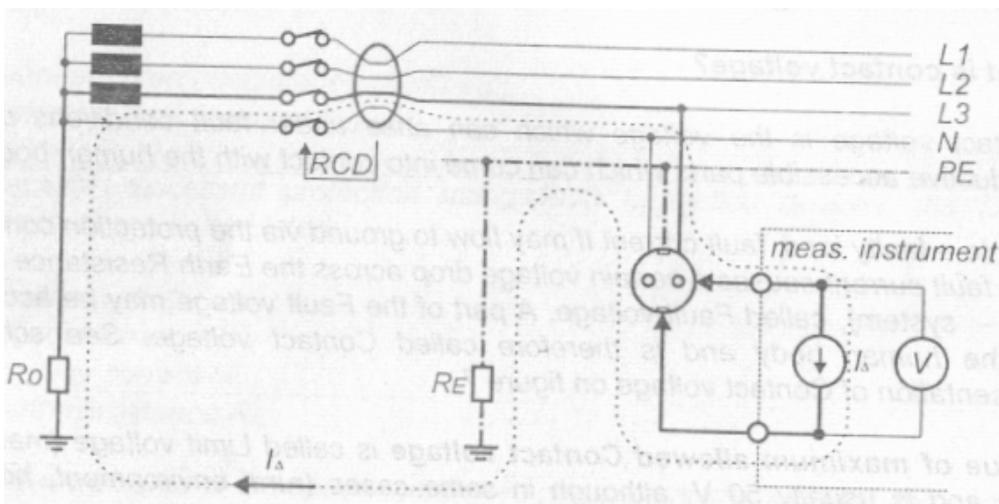


Рис. 50. Принцип измерения напряжения прикосновения в ТТ- системе без использования вспомогательного испытательного электрода.

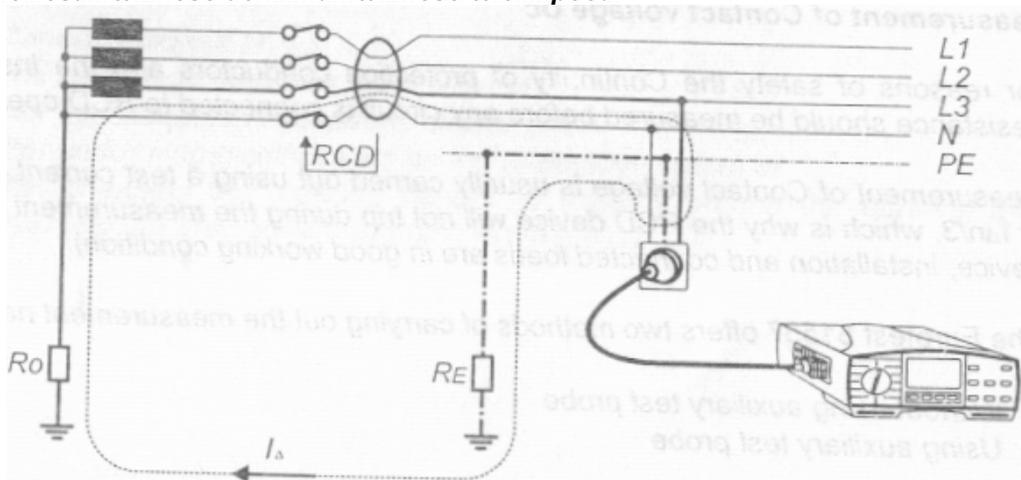


Рис. 51. Практическое подключение испытательного прибора Eurotest 61557 или Instaltest 61557.

Испытательный прибор моделирует повреждение присоединенной нагрузки, приводящее к току повреждения от фазного проводника к защитному проводнику и затем к заземлению. Испытательный ток проходит по следующей петле: защитный проводник от испытательного прибора к электроду заземления, по грунту от электрода заземления к силовому трансформатору, вторичная обмотка силового трансформатора, фазный проводник от силового трансформатора к испытательному прибору. Можно принять, что сопротивление заземления проверяемого устройства намного выше, чем сумма всех других сопротивлений в проверяемой петле, так что большая часть напряжения повреждения сконцентрировано на сопротивлении заземления. Напряжение на сопротивлении заземления может быть принято за напряжение прикосновения и измерено испытательным прибором, использующим зажим фазы в качестве опорной точки.

Описанный метод (без использования вспомогательного испытательного электрода) дает достаточно точные результаты, особенно в ТТ – системах, и очень удобен, так как нет необходимости во вспомогательных испытательных электродах. Для получения абсолютно точных результатов напряжения прикосновения и особенно

Измерения в электроустановках в теории и на практике

для точного вычисления сопротивления заземления R_E , рекомендуется испытательный метод, использующий вспомогательный испытательный электрод.

б) Измерение напряжения прикосновения с использованием вспомогательного испытательного электрода

Принцип измерения представлен на двух рисунках ниже

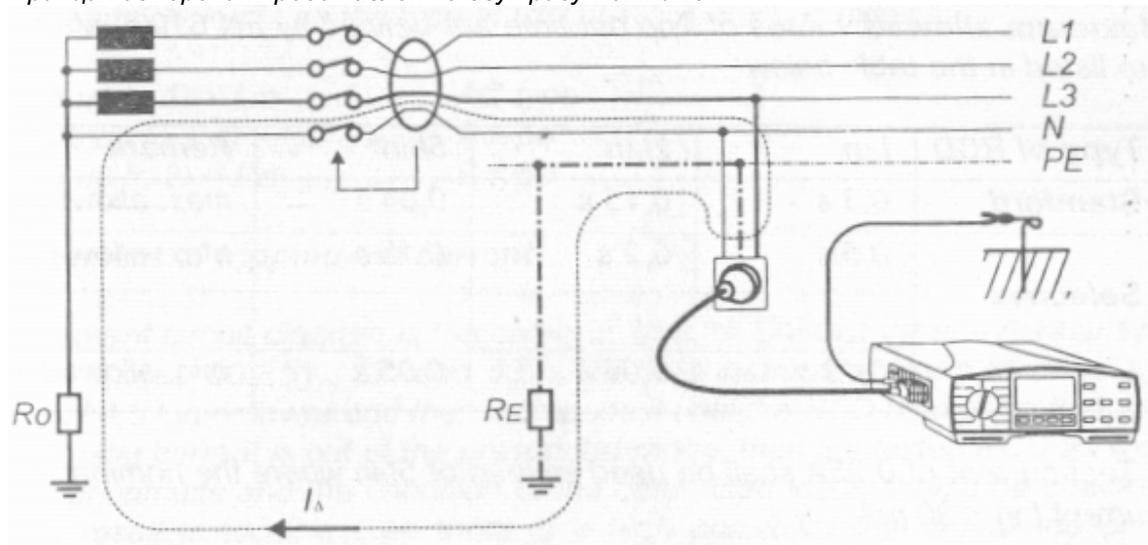


Рис. 52. Принцип измерения напряжения прикосновения в ТТ- системе с использованием вспомогательного испытательного электрода

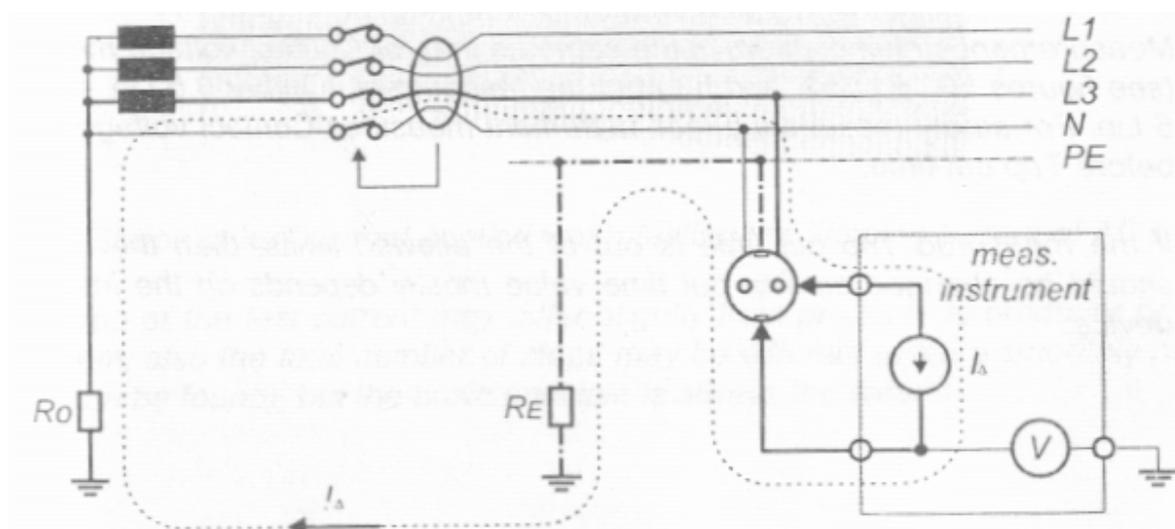


Рис. 53. Практическое подключение испытательного прибора Eurotest 61557

Замечания!

- Если напряжение прикосновения превышает допустимый уровень, то необходимо проверить сопротивление заземления.
- Если RCD срабатывает во время измерения напряжения прикосновения, то велика вероятность, что ток утечки или повреждения уже течет к земле. Нагрузка, которая вызывает такой ток, должна быть отсоединена на время измерения.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.8.2. Время срабатывания

Что такое время срабатывания?

Время срабатывания t_{Δ} - это время, необходимое RCD для срабатывания при номинальном дифференциальном токе $I_{\Delta n}$.

Максимально допускаемые значения времени срабатывания определены в стандарте EN 61009 и перечислены в таблице ниже

Тип RCD	$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$ *	Примечание
Стандартный	0,3 с	0,15 с	0,04 с	Макс. доп. значение
Селективный	0,5 с	0,2 с	0,15 с	Макс. Доп. значение
	0,13 с	0,06 с	0,05 с	Макс. доп. значение

* - используется испытательный ток 0,25 А вместо $5 I_{\Delta n}$, когда номинальный дифференциальный ток $I_{\Delta n} \leq 30$ мА.

Таблица 4. Максимально допускаемые времена срабатывания стандарту EN 61009

Измерение времени срабатывания t_{Δ}

Схема измерения - такая же, как и при измерения напряжения прикосновения (см. рисунки 50., 51., 52. и 53.), но испытательный ток - или $0,5 I_{\Delta n}$, $I_{\Delta n}$, $2 I_{\Delta n}$ или $5 I_{\Delta n}$. Из соображений безопасности испытательный прибор измеряет напряжение прикосновения всякий раз перед временем срабатывания.

Если измеренное время срабатывания превышает допускаемые пределы, то RCD устройство должно быть заменено, поскольку время срабатывания главным образом зависит от установленного RCD устройства.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.8.3. Ток срабатывания

Что такое ток срабатывания?

Это - наименьший дифференциальный ток I_{Δ} , который еще вызывает срабатывание RCD устройства.

Допускаемый диапазон значений тока срабатывания предписан стандартом IEC 61009 и зависит от типа RCD (AC, A или B) следующим образом:

$I_{\Delta} = (\text{от } 0,5 \text{ до } 1) \times I_{\Delta n}$ AC тип

$I_{\Delta} = (\text{от } 0,35 \text{ до } 1,4) \times I_{\Delta n}$ A тип

$I_{\Delta} = (\text{от } 0,5 \text{ до } 2) \times I_{\Delta n}$ B тип

Измерение тока срабатывания

Схема цепи измерения такая же, как для измерения напряжения прикосновения (см. рисунки 50., 51., 52. и 53.). Испытательный прибор начинает с испытательного тока $0,5 I_{\Delta n}$ или ниже и затем увеличивает его до срабатывания RCD или до $1,1 I_{\Delta n}$.

Если ток срабатывания выходит за предписанный диапазон, то тогда должны быть проверены проверяемый RCD, а также цепи установки и состояния подсоединенных нагрузок. Если результат также слишком мал, тогда имеется вероятность того, что ток утечки или повреждения уже течет к земле.

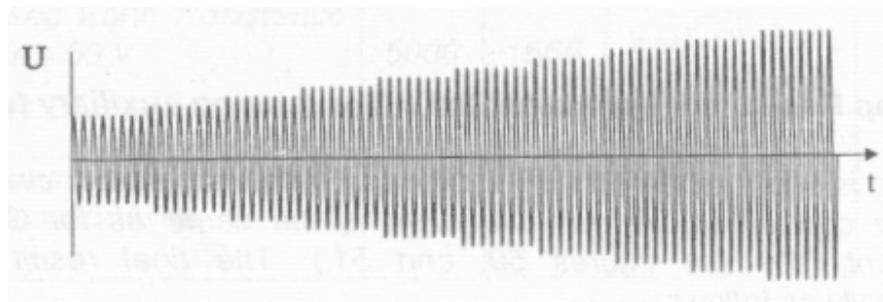


Рис. 54. Форма прикладываемого испытательного тока при проверке тока срабатывания AC типа

Форма испытательного тока не может слегка отличаться от производителя к производителю оборудования, кроме того, может различаться общее количество шагов (может быть найдена даже форма с гладким повышением), но основной принцип - всегда тот же самый.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.8.4. Сопротивление заземления (внешний источник испытательного напряжения)

Соответствующее сопротивление заземления, имеет жизненную важность, когда RCD защита используется от электрического удара. Если сопротивление заземления слишком высоко, тогда неприемлемо высокое напряжение прикосновения может появиться на открытых проводящих частях при условии повреждения. Напряжение представляет потенциальный риск удара электрическим током.

С учетом вышеупомянутого, сопротивление заземления должно быть проверено во всех случаях, где напряжение прикосновения слишком велико.

Современные испытательные приборы показывают оба результата (сопротивление заземления и напряжение прикосновения) одновременно, так как принцип измерения - абсолютно одинаковый.

Испытательные приборы Eurotest 61557 и Instaltest 61557 поддерживают измерение всех четырех параметров (напряжение прикосновения, сопротивление заземления, время срабатывания и ток срабатывания), которые важны для успешной защиты от удара током. Eurotest 61557 может измерять сопротивление заземления с или без вспомогательного испытательного электрода, в то время, как Instaltest 61557 может выполнять испытание только без вспомогательного испытательного электрода. Важно знать, что реальное сопротивление заземления измеряется только с использованием вспомогательного испытательного электрода. Если измерение выполняется без использования вспомогательного испытательного электрода, то измеряется суммарное сопротивление в проверяемой петле (петля повреждения), которая весьма похожа сопротивлению заземления в TT – системе.

а) Измерение сопротивления петли повреждения без использования вспомогательного испытательного электрода

Метод используется главным образом в TT – системах. Схема проведения измерения, так же как и подсоединение испытательного прибора, такие же, как и при измерении напряжения прикосновения (см. рисунки 50. и 51.). Окончательный результат выражается математически следующим образом:

$$\text{Результат} = U/I_t = (U_0 - u) / I_m = R_{sec} + r_l + r_{pe} + r_e + R_e + R_0$$

где

I_m Это испытательный ток (в большинстве случаев его значение равно половине или трети номинального тока, который еще не вызывает срабатывания RCD устройства).

U_0 сетевое напряжение, измеренное в течение первого шага измерения, то есть сетевое напряжение без нагрузки.

U сетевое напряжение, измеренное в течение второго шага измерения, то есть сетевое напряжение, нагруженное испытательным током.

R_{sec} сопротивление вторичной обмотки трансформатора.

R_i сопротивление фазного проводника от силового трансформатора до проверяемой розетки.

r_{pe} сопротивление защитного проводника от проверяемой розетки до электрода защитного заземления.

r_e сопротивление заземления электрода защитного заземления.

R_e сопротивление грунта от электрода защитного заземления до силового трансформатора.

R_0 сопротивление заземления заземляющего электрода силового трансформатора.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Максимально допустимое сопротивление заземления заземляющего электрода, если используется RCD защита, очевидно определяется, если известны следующие два параметра:

- Номинальный дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ установленного RCD (его значение можно прочитать на устройстве).

Стандартные значения $I_{\Delta n}$ следующие: 0,01 А, 0,03 А, 0,1 А, 0,3 А, 0,5 А и 1 А.

- Максимально допустимое напряжение прикосновения U_L .

Обычно это напряжение равно 50 В, в некоторых случаях - может быть только 25 В.

Максимально допустимое сопротивление заземления может быть рассчитано следующим образом:

$$R_{e \text{ Макс}} = U_L / I_{\Delta n}$$

где

U_L предел напряжения прикосновения (25 или 50 В)

$I_{\Delta n}$ номинальный дифференциальный ток установленного RCD устройства защиты

Следующая таблица представляет расчетный максимум допустимого сопротивления заземления

Номинальный дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ (А)	0,01	0,03	0,1	0,3	0,5	1
Макс. допустимое сопротивление заземления при $U_L = 50$ В (Ом)	5000	1666	500	166	100	50
Макс. допустимое сопротивление заземления при $U_L = 25$ В (Ом)	2500	833	250	83	50	25

Таблица 5. Максимально допустимые значения сопротивления заземления

Описанное измерение сопротивления заземления отличается от измерения, описанного в главе «Импеданс петли повреждения и прогнозируемый ток короткого замыкания», в которой не вызывается срабатывание RCD при низком испытательном токе. ($< 0,5 I_{\Delta n}$)

Если можно допустить, что сопротивление заземления R_E намного выше, чем сумма всех других сопротивлений в проверяемой петле (которое является истинным в случае ТТ - систем), то тогда можно заметить следующее:

$$\text{Результат} = R_E$$

Измерения в электроустановках в теории и на практике

в) Измерение сопротивления заземления с использованием вспомогательного испытательного электрода

Этот метод подходит как к ТТ, так и к TN - системам.

Схема измерения и подсоединение испытательного прибора такое же, как и при измерении напряжения прикосновения (см. рисунки 52. и 53.).

Заключительный результат - снова результат математического уравнения:

$$\text{Результат} = U_c / I = R_e$$

где:

U_c Напряжение прикосновения, измеренное вольтметром относительно вспомогательного испытательного электрода. Оно равно напряжению на сопротивлении заземления электрода защитного заземления.

I испытательный ток, текущий по сопротивлению заземления, измеренный амперметром.

R_e сопротивление заземления электрода защитного заземления.

Максимально допустимое сопротивление заземления R_e равно сопротивлению, представленному в таблице 4.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.9. ИМПЕДАНС ПЕТЛИ ПОВРЕЖДЕНИЯ и I_{psc} EN 61557-3

Если петли тока (петли плавкого предохранителя) защищены, устройствами защиты от перегрузки "по току" (плавкие предохранители), то должны быть измерен импеданс петли повреждения Z_s . Импеданс петли повреждения должен быть достаточно мал для возможного тока повреждения для того, чтобы установленное устройство защиты в пределах предписанного интервала времени могло разорвать цепь в случае поврежденной нагрузки.

Импеданс петля повреждения в TN- системе состоит из следующих составляющих импедансов:

- Импеданс вторичной обмотки силового трансформатора
- Сопротивление фазного проводника от силового трансформатора до месторасположения повреждения
- Сопротивление защитного проводника от месторасположения повреждения назад к силовому трансформатору

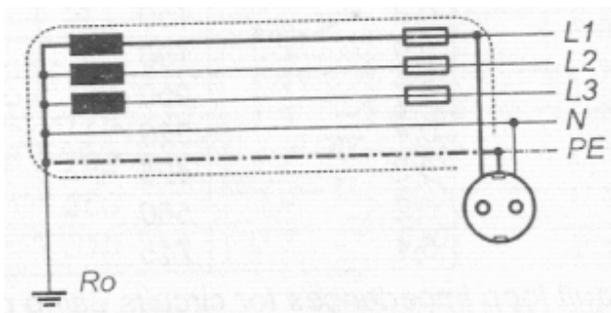


Рис. 55. Представление петли повреждения в TN - системе

Импеданс петля повреждения в TT- системе состоит из следующих составляющих импедансов:

- Импеданс вторичной обмотки силового трансформатора
- Сопротивление фазного проводника от силового трансформатора до месторасположения повреждения
- Сопротивление защитного проводника от месторасположения повреждения до заземляющего электрода
- Сопротивление заземления R_e
- Сопротивление грунта от заземляющего электрода R_e до силового трансформатора
- Сопротивление системы заземления силового трансформатора R_o

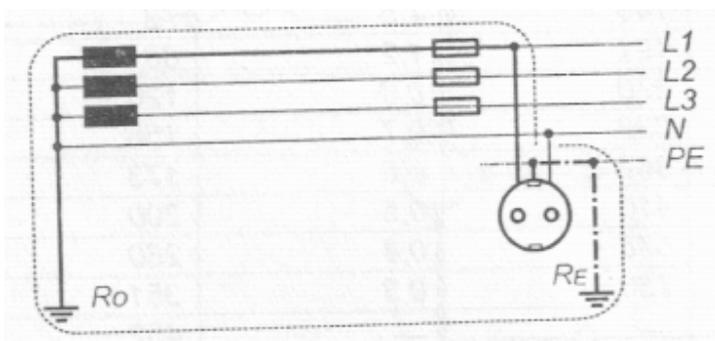


Рис. 56. Представление петли повреждения в TT- системе

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Максимально допускаемые импедансы петли повреждения при использовании плавких предохранителей типа gG, используемых в установках с номинальным сетевым напряжением UL-N = 220 В, представлены в следующей таблице

Номинальный ток прибора защиты от сверхтоков (А)	gG 0,4 с		gG 5 с	
	Ia (А)	Zs (Ом)	Ia (А)	Zs (Ом)
2	16	13,7	9,2	23,9
4	32	6,8	18,5	11,8
6	47	4,6	28,0	7,8
10	82	2,6	46,5	4,7
16	110	2,0	65	3,3
20	147	1,4	85	2,5
25	183	1,2	110	2,0
32	275	0,8	150	1,2
40	320	0,6	190	1,1
50	470	0,4	250	0,8
63	550	0,4	320	0,6
80	840	0,2	425	0,5
100	1020	0,2	580	0,3
125	1450	0,1	715	0,3

Таблица 6. Максимально допускаемые импедансы петли повреждения для цепей, использующих плавкие предохранители типа gG

Iaток петли повреждения, который уже вызывает срабатывание устройства защиты

В некоторых странах вместо устройств защиты от сверхтока типа gG используются устройства типа gL. Ниже приведена соответствующая таблица для устройств защиты типа gL, построенных согласно VDE 0636 и используемых в установках с UL-N = 220 В

Номинальный ток прибора защиты от сверхтоков (А)	gL 0,2 с		gL 5 с	
	Ia (А)	Zs (Ом)	Ia (А)	Zs (Ом)
2	20	11,0	9,21	23,9
4	40	5,5	19,2	11,5
6	60	3,7	28,0	7,9
10	100	2,2	47	4,7
16	148	1,5	72	3,1
20	191	1,2	88	2,5
25	270	0,8	120	1,8
32	332	0,7	156	1,4
35	367	0,6	173	1,3
40	410	0,5	200	1,1
50	578	0,4	260	0,8
63	750	0,3	351	0,6
80	-	-	452	0,5
100	-	-	573	0,4
125	-	-	751	0,3
160	-	-	995	0,2

Таблица 7. Максимально допускаемые импедансы петли повреждения для цепей, использующих плавкие предохранители типа gL.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Максимально допускаемые импедансы петли повреждения для цепей, использующих автоматические предохранители типа В, С и К в установках с номинальным сетевым напряжением $U_{L-N} = 220\text{ В}$, представлены в таблице ниже

Номинальный ток прибора защиты от сверхтоков (А)	Автоматические предохранители типа В		Автоматические предохранители типа С		Автоматические предохранители типа К	
	$I_a = I_n$ (А)	Z_s (Ом) (0,2 с)	$I_a = 10 I_n$ (А)	Z_s (Ом) (0,2 с)	$I_a = 15 I_n$ (А)	Z_s (Ом) (0,2 с)
2	10	22	20	11	30	7,3
4	20	11	40	5,5	60	3,7
6	30	7,3	60	3,65	90	2,4
10	50	4,4	100	2,2	150	1,5
16	80	2,8	160	1,4	240	0,9
20	100	2,2	200	1,1	300	0,7
25	125	1,8	250	0,9	375	0,6
32	160	1,4	320	0,7	480	0,5
35	175	1,3	350	0,65	525	0,4
40	200	1,1	400	0,55	600	0,37
50	250	0,9	500	0,45	750	0,29
63	315	0,7	630	0,35	945	0,23

Таблица 8. Максимально допускаемые импедансы петли повреждения для цепей, использующих автоматические предохранители типа В, С и К.

Измерение импеданса петли повреждения

На двух рисунках ниже проиллюстрированы принципиальные и практические подключения испытательного прибора.

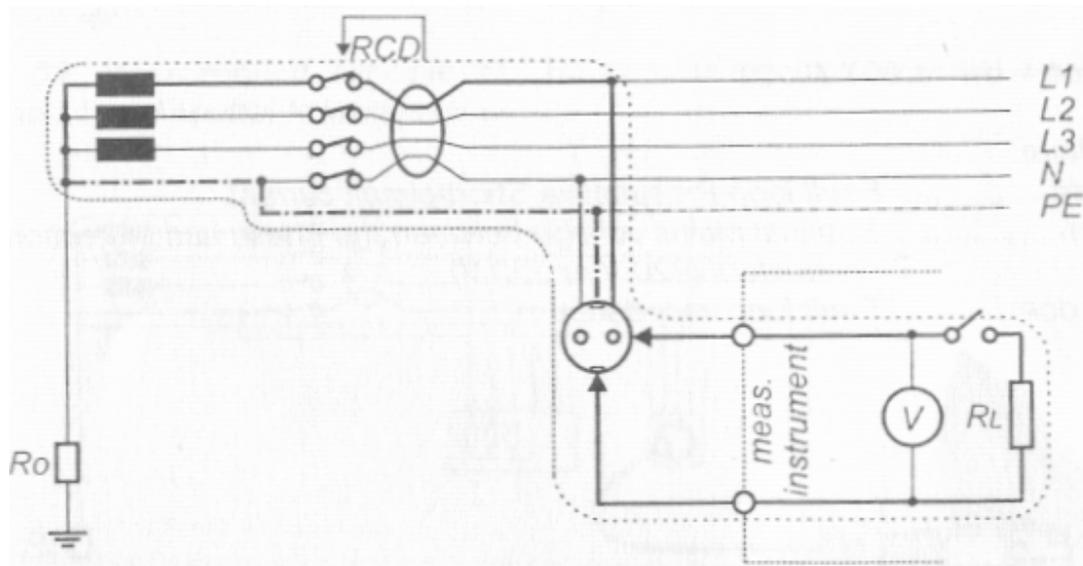


Рис. 57. Принцип измерения.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

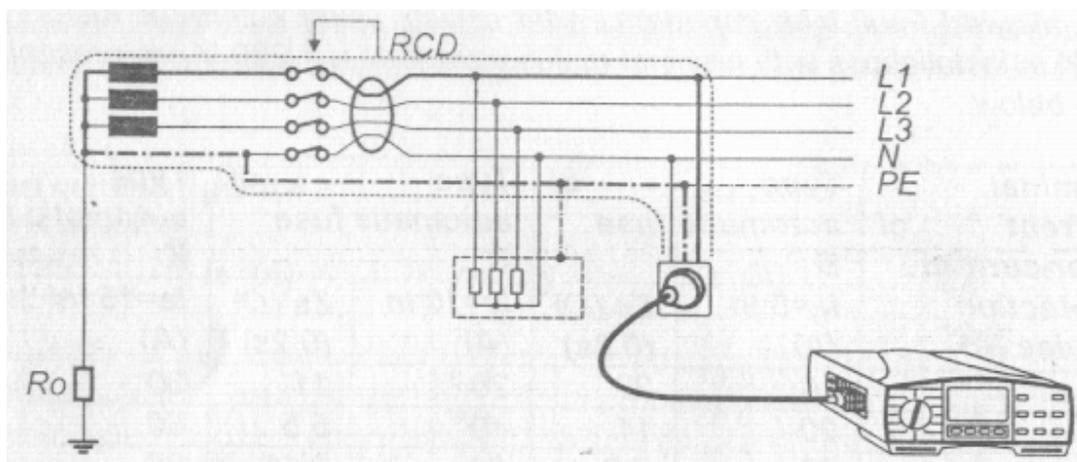


Рис. 58. Практическое подключение испытательного прибора Eurotest 61557 или Instaltest 61557.

$$\text{Результат} = Z_{\text{sec}} + R_{I1} + R_{pe} = Z_s,$$

где

Z_{sec} импеданс вторичной обмотки трансформатора.

R_{I1} сопротивление фазного проводника от силового трансформатора до проверяемой розетки.

R_{pe} сопротивление защитного проводника от испытуемой розетки до силового трансформатора.

Испытательный прибор подсоединен параллельно сетевому напряжению (между фазным и защитным проводниками) и нагружает сеть соответствующим нагрузочным сопротивлением в течение короткого периода времени. Испытательный ток течет по петле, отмеченной прерывистой линией (см. рисунки 57. и 58.). Падение напряжения, вызванной испытательным током измеряется вольтметром. Также измеряется фазовый сдвиг между испытательным током и сетевым напряжением. На основе измеренных параметров испытательный прибор вычисляет импеданс петли повреждения Z_{loop} .

Современные испытательные приборы показывают одновременно импеданс петли повреждения и прогнозируемый ток короткого замыкания I_{psc} , который рассчитывается следующим образом:

$$I_{\text{psc}} = U_n 1,06 / Z_{\text{loop}}$$

где

I_{psc} Прогнозируемый ток короткого замыкания петли повреждения

U_n Номинальное сетевое напряжение между фазным и защитным проводниками (220 В или 230 В)

Z_{loop} Импеданс петли повреждения.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

10. ИМПЕДАНС ЛИНИИ и прогнозируемый ток короткого замыкания

Импеданс линии - импеданс, измеренный между клеммами фазы L и нейтралю N однофазной системы или между двумя клеммами трехфазной системы. Импеданс линии должен быть измерен при проверке способности установки снабжать, например, нагрузки большой мощности, при проверке установленного разъединителя сверхтока и т.д. Импеданс состоит из следующих частных импедансов:

- Импеданс вторичной обмотки силового трансформатора
- Сопротивление фазного проводника от силового трансформатора до испытываемой точки
- Сопротивление проводника нейтрали от силового трансформатора до испытываемой точки

Общие комментарии относительно измерения импеданса линии.

Принцип измерения - точно такой же, как и при измерении импеданса петли повреждения (см. описание в главе 5.9.), но измерение проводят между клеммами L и N.

5.10.1. Импеданс линии между клеммами фазы и нейтралю

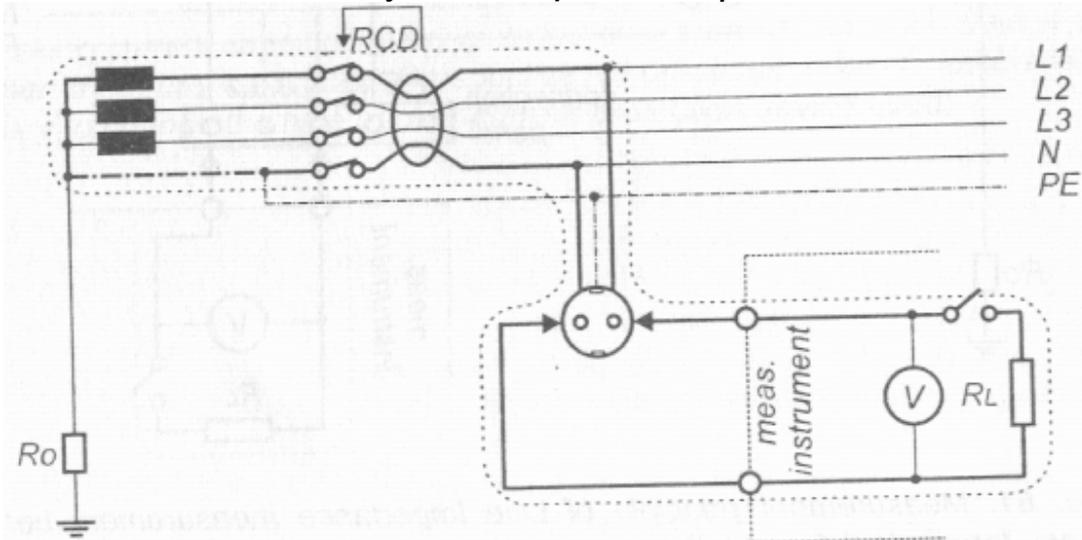


Рис. 59. Принцип измерения импеданса линии между клеммами фазы L1 и нейтралю N.

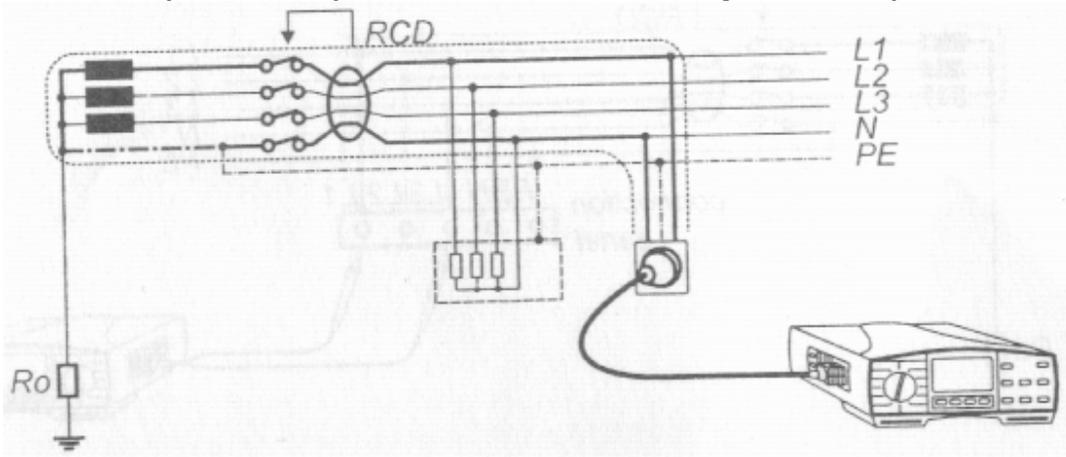


Рис. 60. Практическое подсоединение испытательного прибора

Измерения в электроустановках в теории и на практике

$$\text{Результат} = Z_{\text{sec}} + RL1 + R_w = Z_{\text{line}}$$

где

Z_{sec} Импеданс вторичной обмотки силового трансформатора

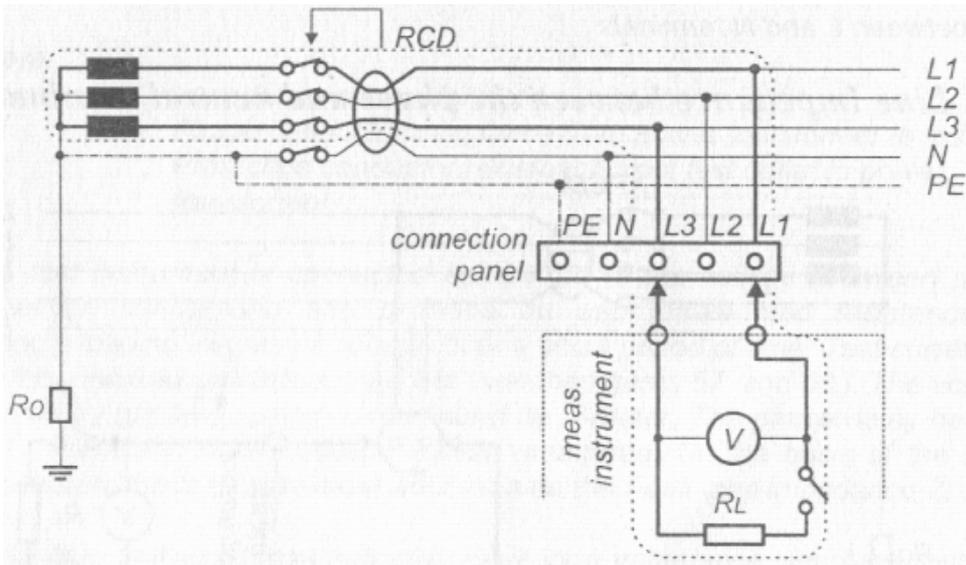
$RL1$ Сопротивление фазного проводника от силового трансформатора до проверяемой точки

R_w Сопротивление проводника нейтрали от силового трансформатора до проверяемой точки

Z_{line} Импеданс Линии

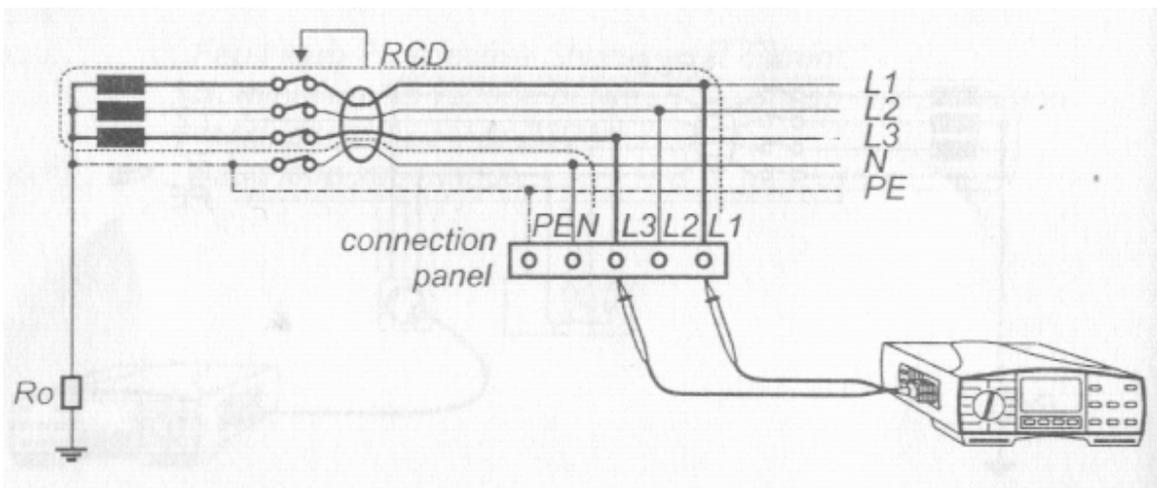
См. описание измерения в следующей главе!

5.10.2. Измерение импеданса линии между двумя фазными проводниками



Connection panel – панель соединений

Рис. 61. Принцип измерения импеданса линии между двумя фазными клеммами (L1 и L3)



Connection panel – панель соединений

Рис. 62. Практическое подключение испытательного прибора

Измерения в электроустановках в теории и на практике

$$\text{Результат} = Z_{\text{сеч}} + R_{L1} + R_{L2} = Z_{\text{LINE}}$$

Измерение проводится в два этапа. Сначала измеряется напряжение ненагруженной системы. Затем подключается нагрузка большой мощности подключается к проверяемым клеммам в течение короткого периода времени. Испытательный ток протекает в петле, отмеченной прерывистой линией (см. рисунки 59, 60, 61 и 62). На основе разности напряжений (нагруженной и ненагруженной системы) и фазового сдвига между напряжением и током испытательный прибор вычисляет импеданс линии ZLINE.

Прогнозируемый ток короткого замыкания I_{psc} рассчитывается по следующей формуле

$$I_{\text{psc}} = U_n / Z_{\text{LINE}}$$

где

I_{psc} Прогнозируемый ток короткого замыкания

U_n Номинальное сетевое напряжение между проводниками фазы и нейтрали или между двумя фазными проводниками (115/230/400 В)

Z_{LINE} импеданс линии

Возможность прерывания любого установленного устройства защиты от сверхтока должна быть выше, чем вычисленный прогнозируемый ток короткого замыкания, в противном случае необходимый заменить тип используемого устройства защиты от сверхтока.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.11. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЕТЛИ N-PE

Современные испытательные приборы с встроенной современной электроникой могут измерять сопротивление даже между нейтралью N и защитным проводником PE, несмотря на возможные высокие токи в проводнике нейтрали. Ток, который возбуждается фазными напряжениями в различных линейных и нелинейных нагрузках, вызывает падение напряжения с чрезвычайно нерегулярной (несинусоидальной) формой. Падение напряжения взаимодействует с испытательным напряжением u , таким образом, искажает измерение. Используется внутреннее испытательное напряжение (приблизительно 40 В, переменный ток, < 15 мА) так как сетевое напряжение между проводниками нейтрали и защитными проводниками.

Важное преимущество этого измерения по сравнению с испытанием петли повреждения (L - PE) в том, что RCD устройства в течение измерения определенно не срабатывает, благодаря малому току (< 15 мА).

Испытательный прибор Eurotest 61557 использует особый (**патентованный**) принцип измерения для фильтрации испытательного сигнала u , следовательно, обеспечивает правильный результат измерения.

Какие заключения мы выводим из измерения?

Следующие заключения могут быть сделаны на основе результатов измерения:

- Тип используемого подсоединения защитного проводника (TN, TT или IT - система)
- Значение сопротивления заземления TT- системы
- В случае TT или TN- системы результат подобен значению сопротивления повреждения, вот почему испытательный прибор может также вычислить прогнозируемый ток короткого замыкания петли повреждения

Общие соображения относительно принципа измерения

Так как нет сетевого напряжения между клеммами N и PE, то испытательное напряжение должно производиться внутри прибора. Это напряжение может быть или постоянного или переменного тока. Прибор Eurotest 61557 использует испытательное напряжение переменного тока. Измерение проводится на основе метода вольтметра - амперметра согласно нижеприведенному рисунку.

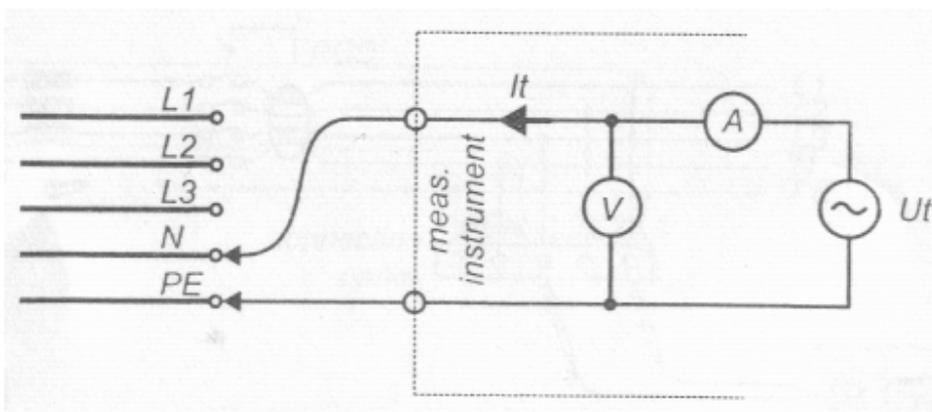


Рис. 63. Принцип измерения

$$\text{Результат} = U_t / I_t = R_{N-PE}$$

Измерения в электроустановках в теории и на практике

где

U_t Испытательное напряжение, измеренное вольтметром

I_t Испытательный ток, измеренный амперметром

R_n r_e Сопротивление петли N-PE

5.11.1. Измерение сопротивления петли N-PE в TN- системе

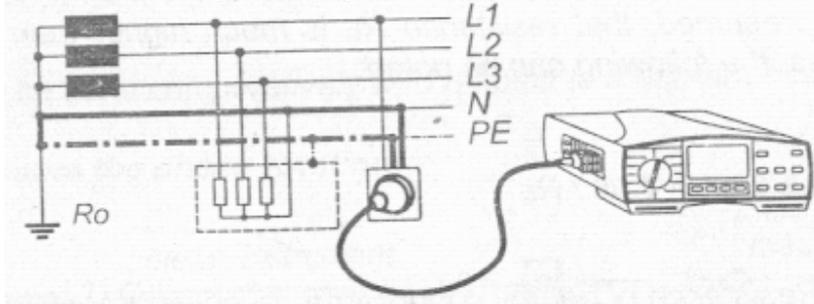


Рис. 64. Измерение сопротивления между нейтралью и защитным проводником в TN системе

Испытательный прибор измеряет сопротивление нейтрали и защитного проводника от силового трансформатора до места измерения (петля, отмеченная жирной линией на верхнем рисунке). Достаточно низкий результат испытания (максимум пара ом) в этом случае показывает, что имеем дело с TN – системой.

Результат 1 = $R_n + R_{pe}$

Результат 2 = $I_{psc} = 230 \text{ В} / (R_n + R_{pe})$

где

R_n Сопротивление проводника нейтрали (отмеченного жирной линией).

R_{pe} Сопротивление защитного проводника (отмеченного жирной штрихпунктирной линией).

I_{psc} Прогнозируемый ток короткого замыкания в петле повреждения.

5.11.2. Измерение сопротивления петли N-PE в TT- системе

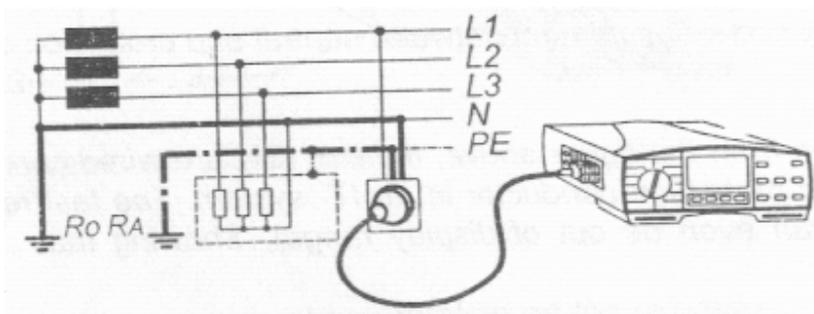


Рис. 65. Измерение сопротивления между нейтралью и защитным проводником в TT системе

Испытательный прибор измеряет сопротивление в следующей петле: проводник нейтрали от силового трансформатора до места измерения (сетевая розетка), защитный

Измерения в электроустановках в теории и на практике

проводник от сетевой розетки до электрода заземления и затем назад к силовому трансформатору через грунт и систему заземления трансформатора (петля отмечена жирной линией на рисунке) выше). Результат испытания в этом случае достаточно высок (превышает десять ом), показывая, что мы имеем дело с ТТ - системой.

$$\text{Результат 1} = R_n + R_{pe} + R_e + R_o$$

$$\text{Результат 2} = I_{psc} = 230 \text{ В } 1, 06 / (R_n + R_{pe} + R_e + R_o)$$

Поскольку предполагается, что сопротивление R_E намного выше суммы всех других сопротивлений, то может быть отмечено следующее

$$\text{Результат 1} = R_e$$

$$\text{Результат 2} = I_{psc} = 230 \text{ В } 1, 06 / R_e$$

где

R_n Сопротивление проводника нейтрали от силового трансформатора до места измерения (сетевая розетка).

R_{pe} Сопротивление защитного проводника от сетевой розетки до электрода заземления.

R_e Сопротивление заземления электрода защитного заземления.

R_o Сопротивление заземления системы заземления трансформатора.

I_{psc} Прогнозируемый ток короткого замыкания петли повреждения.

5.11.3. Измерение сопротивления петли N - PE в IT-системе

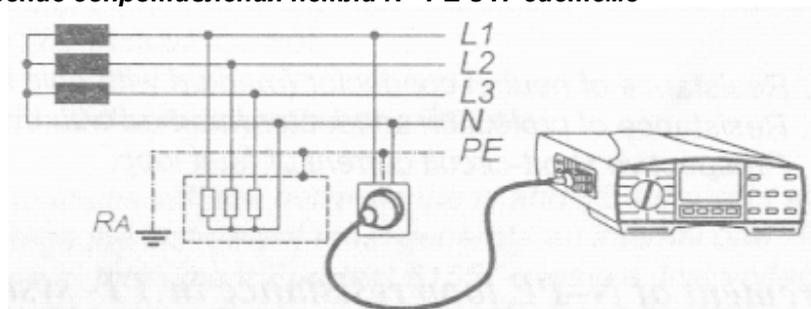


Рис. 66. Измерение сопротивления между нейтралью и защитным проводником в IT-системе

Как видно из вышеприведенного рисунка, нет жесткого соединения между нейтралью и защитным проводником в IT-системе. Следовательно, результат испытания очень высок (он может даже выходить за пределы диапазона измерений), тем самым показывая, что это – IT-система.

Внимание!

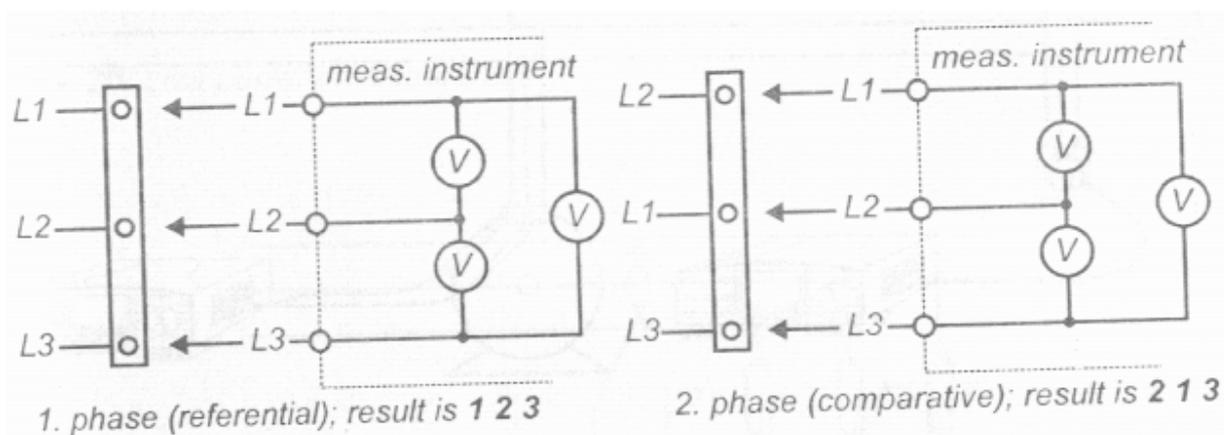
Высокий результат испытания сам по себе - не достаточное свидетельство того, что это - IT-система (это может быть даже разрыв защитного проводника в TN или TT- системе).

5.12. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ФАЗ..... 61557- 7

На практике мы часто встречаемся с подсоединением трехфазных нагрузок (двигатели и другие электромеханические машины) к трехфазной сетевой установке. Некоторые нагрузки (вентиляторы, конвейеры, двигатели, электромеханические машины и т.д.) требуют определенной последовательности фаз, а некоторые могут даже быть поврежденными, если последовательность будет неправильной. Вот почему желательно проверить последовательность фаз прежде, чем производить соединение.

Испытание может быть сделано относительно опорной сетевой розетки.

Как измеряется последовательность фаз?



Phase (referential); result is 1 2 3 – фаза (опорная); результат – 1 2 3

Phase (comparative); result is 1 2 3 – фаза (сравниваемая); результат – 1 2 3

Рис. 67. Принцип Измерения.

Испытательный прибор сравнивает фазные напряжения всех трех фаз, определяя фазовые сдвиги, на основе чего определяется последовательность фаз.

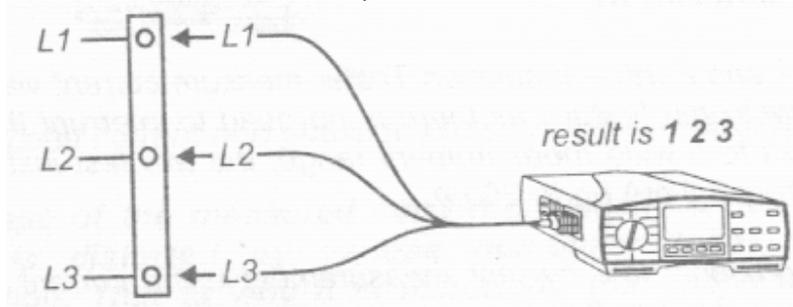


Рис. 68. Измерение последовательности фаз

Процедура:

- Во-первых, мы должны измерить последовательность фаз на выходе сетевой розетки, где известно поведение какой-нибудь машины (то есть известна последовательность фаз). Направление должно быть отмечено.
- Измерение должно быть повторено на неизвестном выходе сетевой розетки, и оба результата надо сравнить.
- Если необходимо, то поменять местами два фазных проводника, чтобы изменить фазу вращения.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.13. ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ, ЧАСТОТЫ И ТОКА

5.13.1. Измерение напряжения и частоты

Измерение напряжения часто должно проводиться при работе с электрическими установками (выполнение различных измерений и испытаний, поиск мест повреждения и т.д.). Частота должна измеряться, например, при установлении источника сетевого напряжения (силовой трансформатор или индивидуальный генератор).

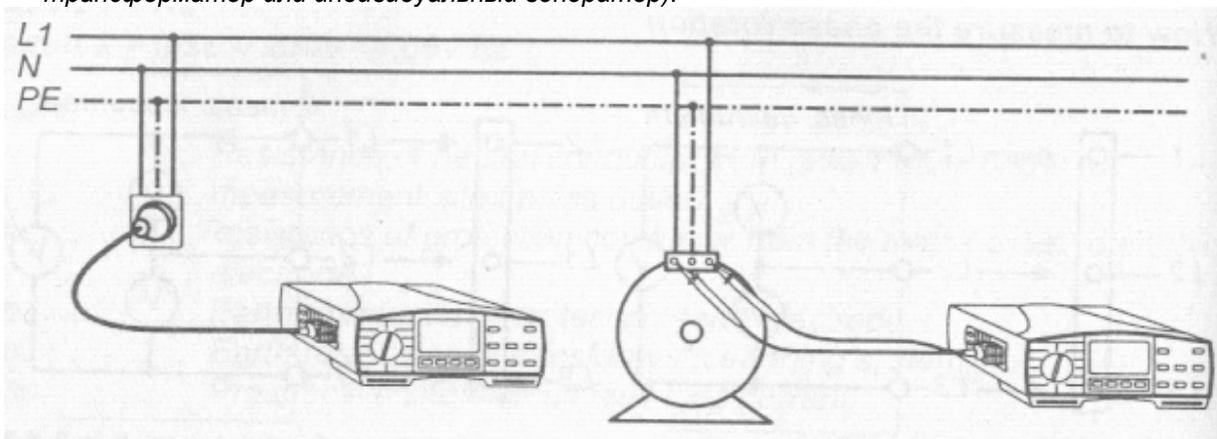


Рис. 69. Измерение напряжения / частоты на сетевой розетке посредством 13-амперной вилки, а также на клеммах двигателя посредством универсального испытательного кабеля

5.13.2. Измерение тока

Eurotest 61557 и *Earth-Insulation Tester* измеряют ток через токовые испытательные клещи, которые являются благоприятной особенностью так как нет необходимости разрывать цепь измеряемого тока. Благодаря широкому диапазону измерений, два контрольно-измерительных прибора могут измерять токи от 0,5 мА до 200 А.

На рисунке ниже показано измерение малого тока с использованием токовых клещей. Рисунок 72 представляет одновременное измерение тока нагрузки в фазе L2 и межфазного напряжения UL2-L1.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

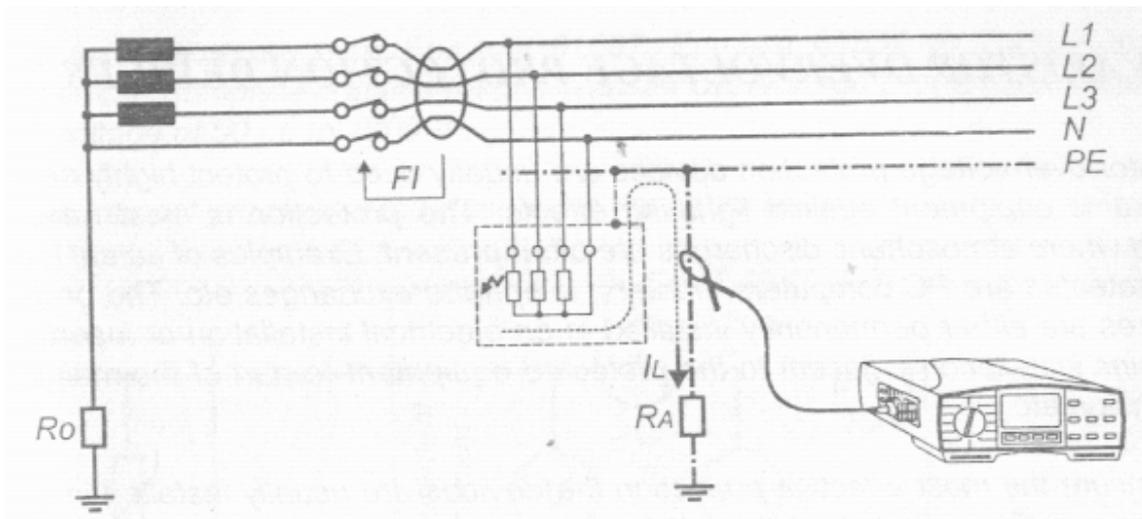


Рис. 70. Измерение малого тока

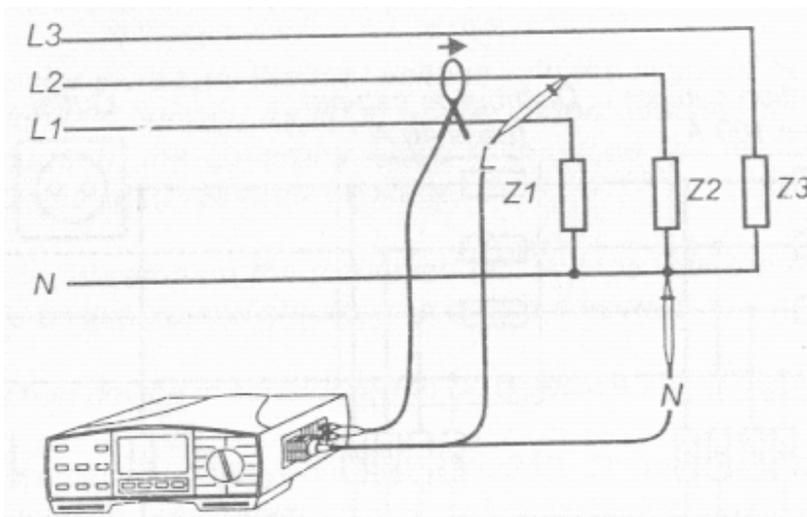


Рис. 71. Измерение тока нагрузки и межфазного напряжения

Форма измеряемого тока обычно отличается от синусоиды. Форма искажается различными нелинейными нагрузками, подсоединенными к сетевой установке. Именно поэтому важно, чтобы испытательные приборы (типа Eurotest 61557 или Earth-Insulation Tester) измеряли действительное среднеквадратическое значение тока, иначе результат может вводить в заблуждение.

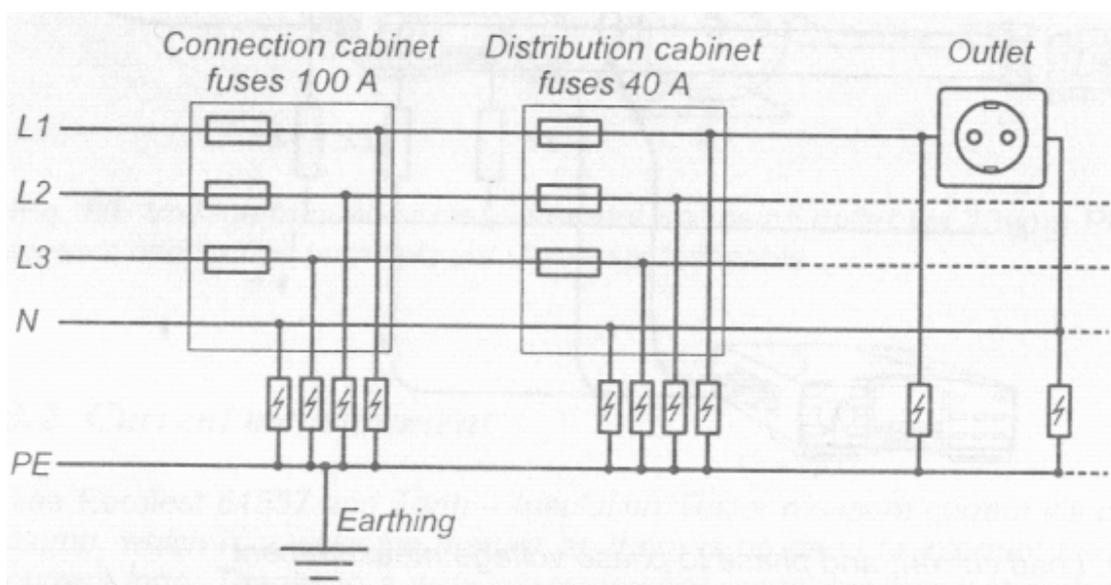
Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.14. ВАРИСТОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Варистор устройства защиты от перенапряжения обычно используются, чтобы защитить высокочувствительную электронную аппаратуру от воздействия молнии. Защита более всего необходима в районах, где часто присутствуют атмосферные разряды. Примеры защищаемых нагрузок – персональные компьютеры, принтеры, телефонные станции и т.д. Приборы защиты или установлены неизменно в электрооборудование или вставлены в сетевые по соседству с защищаемым оборудованием (некоторые сетевые розетки, удлинители **расширители** и т.д.).

Чтобы гарантировать наиболее эффективную защиту, устройства обычно устанавливаются в нескольких ступенях, а именно:

- В соединительных шкафах **подключения** при вводе сетевого напряжения (устройства защищают от распространения перенапряжений по сети)
- В распределительных шкафах индивидуальных инсталляционных блоков
- По соседству с присоединенными электрическими нагрузками (оборудованием).



Connection cabinet - шкаф соединений
Distribution cabinet - распределительный шкаф
Fuse – предохранители
Outlet - розетка

Рис. 72. Подключение многоуровневой защиты

Конструкции защитных устройств сильно отличаются друг от друга, они могут состоять из только варисторов, газоразрядных ограничителей, быстродействующих диодов, соленоидов, конденсаторов или комбинаций этих и других различных элементов и т.д.

Устройства могут, поглощая высоковольтных импульсов, изменять свои характеристики двояким образом:

- Может уменьшаться напряжение пробоя. По этой причине они могут быть разрушены непосредственно сетевым напряжением.
- Они могут полностью выходить из строя. Следовательно, при этом теряется полностью функция защиты.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Контрольно-измерительные приборы такие, как Eurotest 61557, Instaltest 61557 или Earth – Insulation Tester могут выполнять неразрушающий контроль варисторных устройств защиты от перенапряжения с использованием испытательного напряжения от 50 до 1000 В.

Принцип измерения представлен на рисунке ниже.

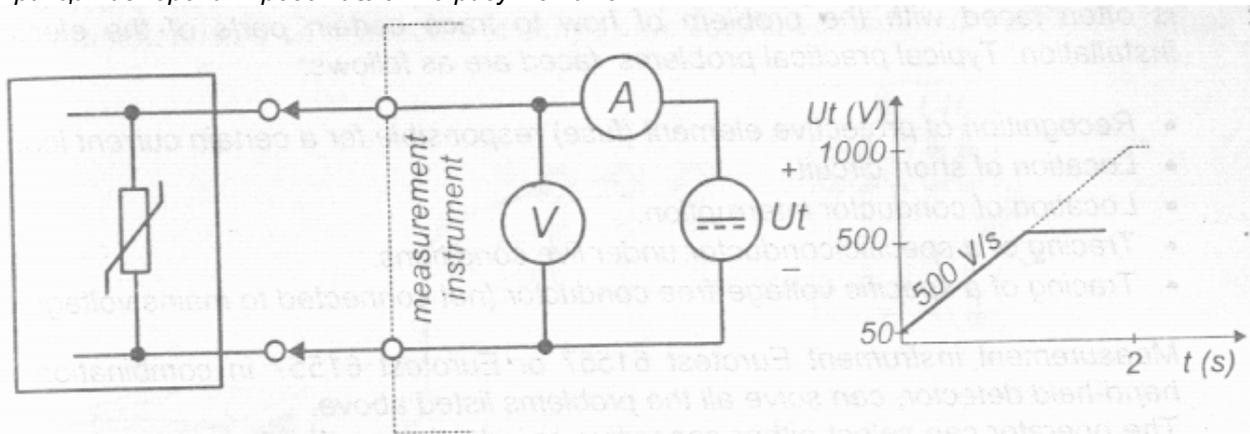


Рис. 73. Принцип измерения

Генератор постоянного тока увеличивает испытательное напряжение со скоростью 500 В/с, в то время как вольтметр измеряет прямой ток. Как только ток достигает значения 1 мА (пороговый ток) генератор прекращает генерировать испытательное напряжение, и отображается последнее значение напряжения (напряжение пробоя).

Пользователь должен сравнить отображенное испытательное напряжение с номиналом напряжения, отмеченным на корпус устройства и, если необходимо, заменить устройство.

Устройство защиты считается дефектным при следующих обстоятельствах:

- Если это - разомкнутая цепь (отображаемый результат > 1000 В). Не имеется никакой функции защиты.
- Если отображаемое напряжение пробоя слишком высоко (отображаемое значение, например, равно удвоенной номинальной величине). Защита частично разрушена, и это может быть причиной слишком высоких электрических перенапряжений.
- Если отображаемое напряжение пробоя слишком мало (отображаемое значение, близко номинальному сетевому напряжению). Полный выход из строя устройства может быть вызвано сетевым напряжением в ближайшем будущем.

Внимание!

- Испытание должно проводиться с обесточенным защитным устройством
- Проверяемое устройство должно быть удалено из установки перед его испытанием для того, чтобы другие нагрузки, присоединенные к установке, не влияли на испытания.

5.15. ТРАССИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Когда проводятся работы с электрическими установками, такие как инсталляция новых установок, обслуживание существующих установок, устранение неисправностей в установках, составление плана установки на основе уже существующей установки, проведение измерений и т.д. инженер часто стоит перед проблемой, как определить трассировку некоторых частей электрической установки. Некоторые встречающиеся типовые практические проблемы перечислены ниже:

- Распознавание защитного элемента (плавкого предохранителя), ответственного за некоторую петлю тока.
- Определение места короткого замыкания.
- Определение места разрыва проводника.
- Трассировка определенного проводника, находящегося под напряжением.
- Трассировка определенного проводника, свободного от напряжения (не присоединенного к сетевому напряжению).

Измерительные приборы Eurotest 61557 или Instaltest 61557 в совокупности с переносным детектором могут решить все вышеперечисленные проблемы.

Оператор может выбрать или емкостной или индуктивный метод приема испытательного сигнала переносным детектором. Режим будет выбран в соответствии с режимом прибора, а именно

- Индуктивный режим прибор работает на установке под сетевым напряжением (он использует сетевое напряжение)
- Емкостный режим прибор работает на установке, свободной от напряжения (он вырабатывает свой собственный сигнал)

Контрольно-измерительный прибор выбирает соответствующий способ автоматически в зависимости есть или нет сетевого напряжения.

Ниже представлен принцип трассировки электрической установки и работа испытательного прибора.

а) Распознавание защитного элемента в установке с включенным сетевым напряжением

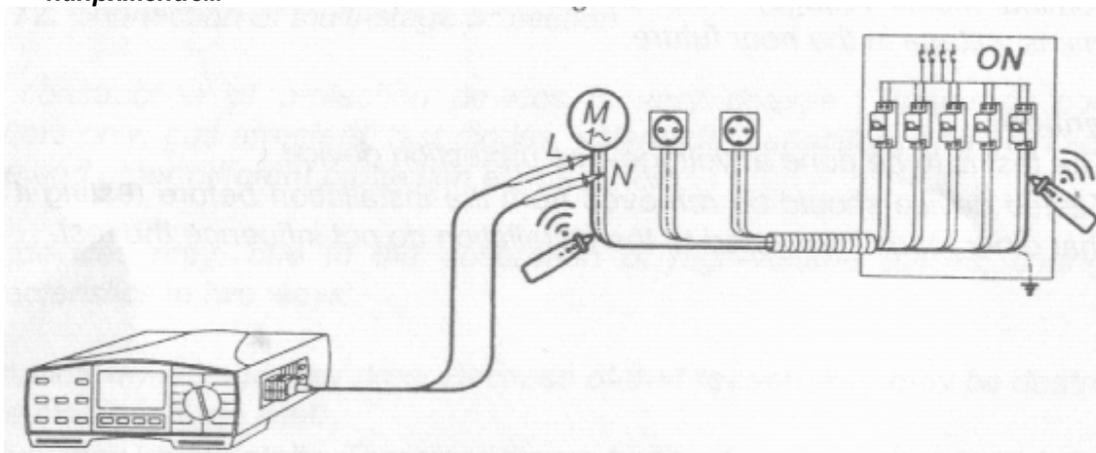


Рис. 74. Подключение контрольно-измерительного прибора к фазному проводнику и нейтрали электрических аппаратов

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Контрольно-измерительный прибор задает нагрузку на сеть питания переменного тока, т.е. он генерирует токовые испытательные импульсы с определенной частотой между фазным и нейтральным зажимами. Ток создает электромагнитное поле вокруг присоединенных проводников, которое может быть обнаружено ручным детектором. Таким образом детектор идентифицирует плавкий предохранитель, связанный с этой цепью.

Если этот плавкий предохранитель связан с определенной сетевой розеткой, которая должна быть идентифицирована, то испытательный прибор должен быть соединен непосредственно с этой розеткой согласно рисунку ниже.

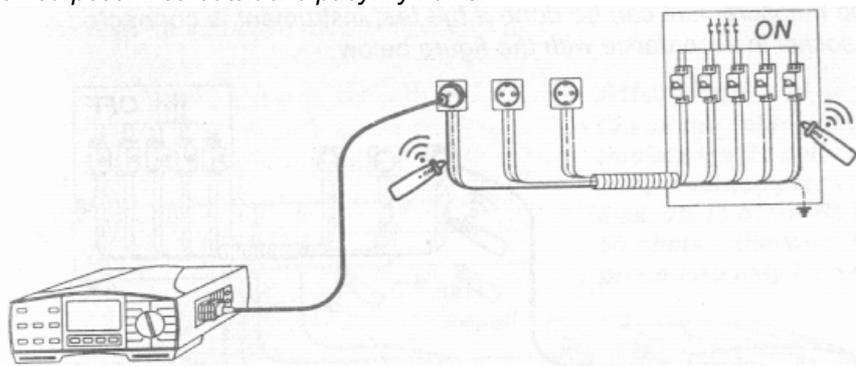


Рис. 75. Подключение испытательного прибора непосредственно к сетевой розетке.

Принцип работы испытательного прибора в обоих случаях (контрольно-измерительный прибор подключен к непосредственно сетевой розетке - рис. 76. или к электрическому аппарату - рис. 75.) одинаков, т.е. контрольно-измерительный прибор нагружает сетевое напряжение, генерируя токовые испытательные импульсы от фазы на клемму нейтрали.

б) Распознавание защитного элемента в свободной от напряжения установке
Установите емкостной режим приема в детекторе.

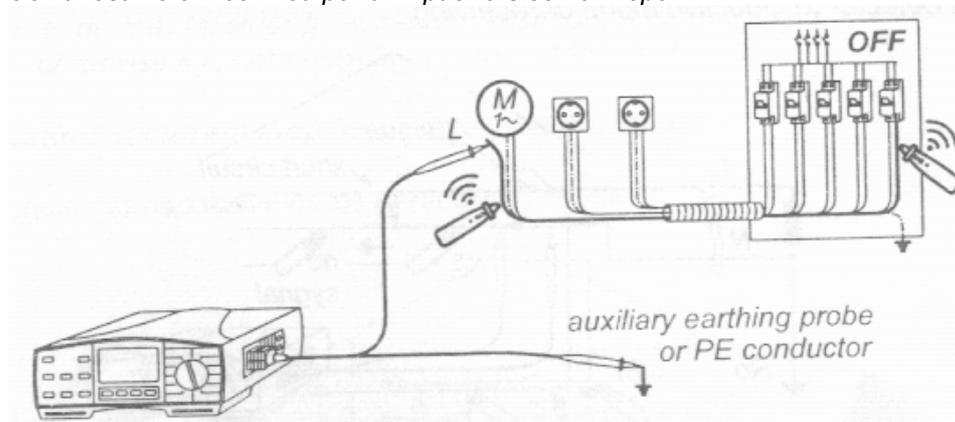


Рис. 76. распознавание элемента защиты в установке, свободный от напряжения (вспомогательный электрод или клемма PE используется как опорный зажим).

Контрольно-измерительный прибор налагает испытательный сигнал звуковой частоты между опорной точкой и проверяемым проводником. Проводник излучает наложенный сигнал (интенсивность сигнала уменьшается с увеличением расстояния от

Измерения в электроустановках в теории и на практике

проводника), которое может быть обнаружено ручным индикатором. Таким образом детектор идентифицирует включенный элемент защиты (плавкий предохранитель).

Перед началом измерения необходимо отсоединить фазный проводник от аппарата. Если это не было выполнено, то наложенный сигнал будет передаваться через внутреннее сопротивление присоединенного аппарата к проводнику нейтрали, который обычно имеет потенциал земли. Потенциале. Это означало бы, что наложенный сигнал закорачивается, и поэтому измерение невозможно.

Такое же измерение может быть проведено, если контрольно-измерительный прибор подсоединен непосредственно к сетевой розетке в соответствии с рисунком ниже.

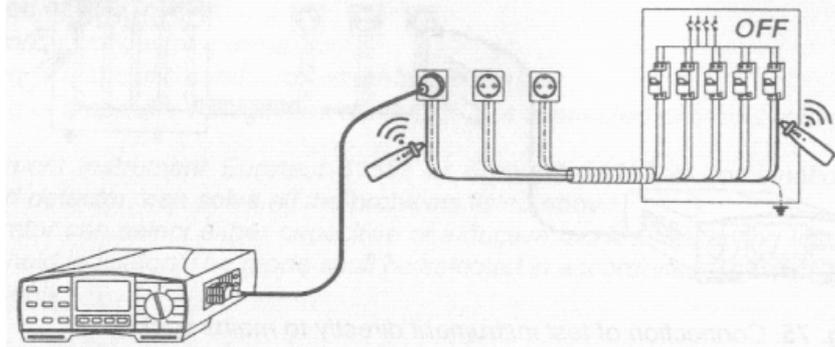


Рис. 77. Распознавание элемента защиты на установке, свободной от напряжения (клемма нейтрали сетевой розетки служит в качестве опорной точки)

Оба из вышеупомянутых примеров (рис. 77 и рис. 78) - одинаковы за исключением того, что различна опорная точка (клемма PE / вспомогательный электрод рис.77 и проводник нейтрали - рис. 78).

с) Определения местонахождения короткого замыкания между фазным проводником и нейтралью

Установите индуктивный режим приема в детекторе.

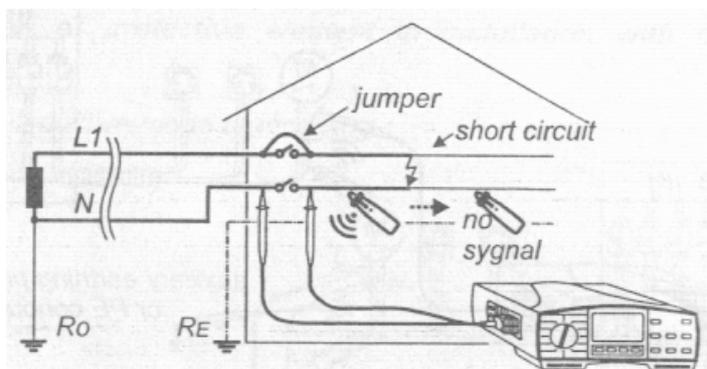


Рис. 78. Подключение контрольно-измерительного прибора для нахождения короткого замыкания между фазным проводником и нейтралью.

Перед началом измерения необходимо закоротить один полюс двухполюсного выключателя (нейтраль или фазный проводник), таким образом давая возможность контрольно-измерительному прибору нагрузить сетевое напряжение.

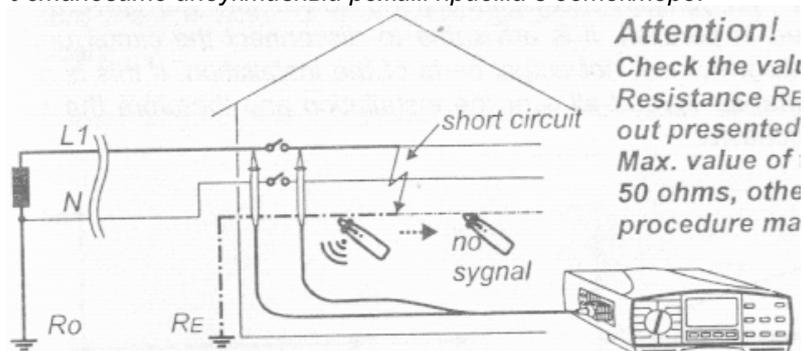
Измерения в электроустановках в теории и на практике

Образуется следующая токовая петля: трансформатор, фазный проводник от трансформатора через вставленную перемычку, проводник нейтрали через короткозамкнутую цепь к контрольно-измерительному прибору и проводник нейтрали от контрольно-измерительного прибора до силового трансформатора.

Сгенерированный ток вызывает соответствующее электромагнитное поле, которое может быть обнаружено переносным индикатором.

с) Местонахождение короткого замыкания между фазным проводником и проводником защиты

Установите индуктивный режим приема в детекторе.



Внимание!

Проверьте значение сопротивления заземления R_e перед проведением представленной процедуры

Максимальное значение R_e равно 50 Ом, иначе процедура может быть опасной!

Рис. 79. Подключение испытательного прибора для нахождения короткозамкнутых цепей между фазным проводником и проводником защиты

Испытательный прибор нагружает сетевое напряжение. Возникает следующая токовая петля: трансформатор, фазный проводник от трансформатора через контрольно-измерительный прибор к короткому замыканию, защитный проводник от короткого замыкания к системе заземления, и через грунт назад к трансформатору.

Сгенерированный ток вызывает соответствующее электромагнитное поле, которое может быть обнаружено переносным индикатором.

Если имеется RCD устройство, встроенное в проверяемую петлю, то это может вызывать срабатывание этого устройства. Чтобы этого избежать, необходимо закоротить RCD устройство, иначе невозможно провести это испытание.

е) Местонахождение разрыва петли тока (проводника)

Установите емкостной режим приема в детекторе.

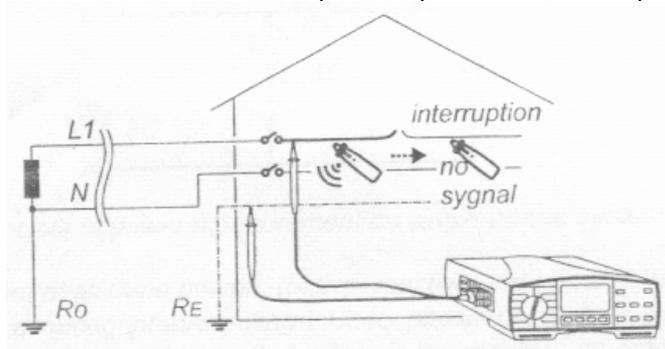


Рис. 80. Подключение контрольно-измерительного прибора для нахождения разрыва петли тока.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Измерение должно быть проведено на установке с выключенным напряжением. Испытательный прибор накладывает испытательный сигнал звуковой частоты между опорной точкой (провод защитного заземления) и проверяемый проводник. Проводник излучает наложенный сигнал, который может быть обнаружен переносным индикатором. Если РЕ проводник недоступен, то он может быть заменен вспомогательным заземляющим электродом, подсоединенным к земле.

Заметьте!

- *При работе со сложными установками (длинные проводники с несколькими токовыми петлями, соединенными параллельно) желательны отсоединить проверяемый контур от любых элементов, которые фактически не являются частями установки. Если этого не сделать, то испытательный сигнал будет распространяться по всей установке и, следовательно, избирательный тест будет невозможным.*

5.16. МОЩНОСТЬ

Электрические нагрузки, присоединяемые к сетевым установкам отличаются друг от друга их номинальной мощностью, внутренним импедансом, числом фаз и т.д.

Так как установки предназначаются только для обеспечения ограниченной мощности, то необходимо контролировать потребляемую мощность. Если этого не делать, то установка может быть перегружена или даже повреждена, может также автоматически срабатывать отключение, некоторые нагрузки могут пострадать от низкого сетевого напряжения перегруженной системы и т.д. Также важно измерять характер потребляемой мощности, т.е. косинус φ и компенсировать его, если это необходимо.

Следующий рисунок представляет диаграмму мощности в комплексной плоскости

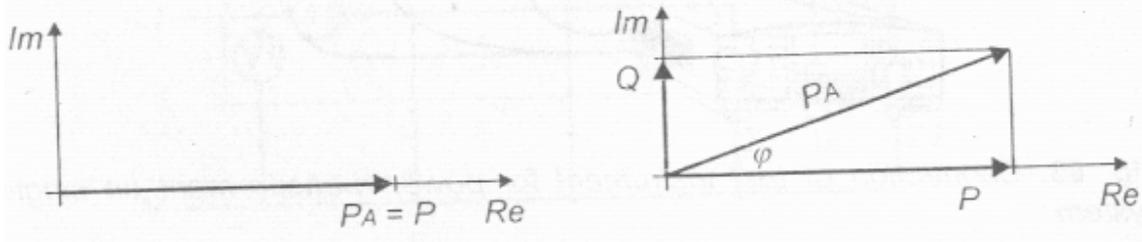


Рис. 81. Диаграмма мощности в комплексной плоскости (косинус $\varphi = 1$ на левой диаграмме и косинус $\varphi \neq 1$ на правой диаграмме)

где

- Im Мнимая ось
- Re Реальная ось
- P Активная мощность
- Q Реактивная мощность
- PA Полная мощность

5.16.1. Измерение мощности в однофазной системе

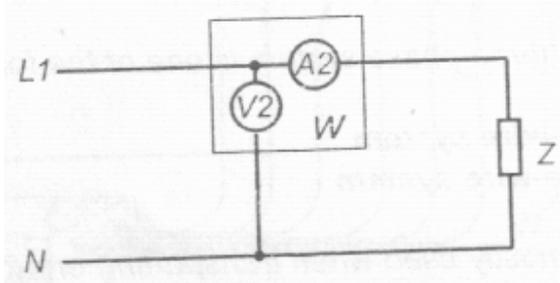


Рис. 82. Принцип измерения мощности в однофазной системе

Измерение всех трех мощностей (активной, реактивной и полной) может быть выполнено косвенно, измеряя фазное напряжение U_{L-N} , фазный ток I_L и фазовый сдвиг между напряжением и током. Угол φ - результат действия индуктивных или емкостных нагрузок, подсоединенных к сетевой установке.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

При использовании контрольно-измерительного прибора Eurotest 61557 или Power Meter (ваттметра) возможно измерять все три типа мощности в однофазной нагрузке (Eurotest 61557) - см. подключение испытательного прибора на рисунке ниже или в трехфазной нагрузке (Power Meter). Уровни мощности рассчитываются контрольно-измерительным прибором в соответствии с уравнениями ниже и могут быть считаны непосредственно с дисплея.

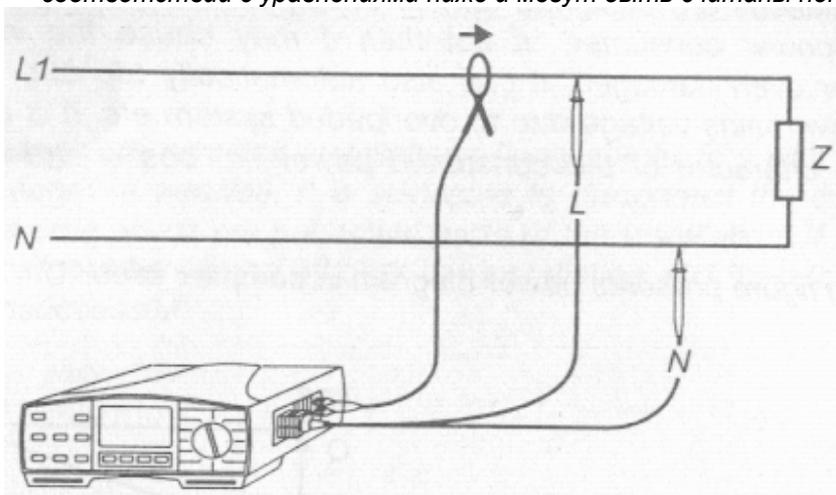


Рис. 83. Подключение контрольно-измерительного прибора для измерения мощности в однофазной системе

$P = U \cdot I \cos \varphi$ (активная мощность в Вт)

$Q = U \cdot I \sin \varphi$ (реактивная мощность в ВАр)

$PA = U \cdot I$ (полная мощность в ВА)

где

U действующее значение фазного напряжения

I действующее значение фазного тока

φ фазовый угол между фазным напряжением U и фазным током I .

5.16.2. Измерение мощности в трехфазной системе

Измерение мощности в трехфазной системе может быть следующим:

- Измерение в четырехпроводной системе
- Измерение в трехпроводной системе

Трехпроводная система главным образом используется для передачи энергии с использованием высоких напряжений. Она также используется при низких напряжениях, когда имеются мощные симметричные нагрузки без проводника нейтрали (двигатели, системы нагрева и т.д.), подсоединенные к сетевой установке.

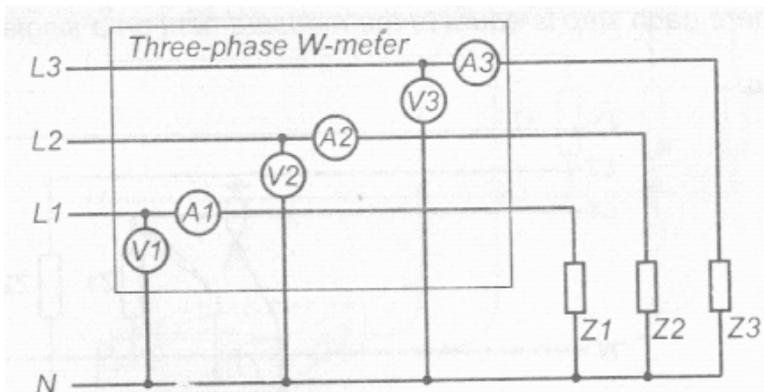
Четырехпроводная система подходит для питания несимметричных трехфазных нагрузок или однофазных нагрузок, распределенных по всем трем фазам установки низкого напряжения.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

При измерении мощности в трехфазной системе необходимо принимать во внимание тот факт, что трехфазная система электропитания может быть несимметричной (векторы межфазных напряжений $U_{L1/L2}$, $U_{L2/L3}$ и $U_{L3/L1}$, взятые последовательно, не образуют равностороннего треугольника) из-за мощных несимметричных трехфазных нагрузок, подсоединенных к сетевой установке.

Измерение мощности в четырехпроводной системе

а) Метод трехфазного ваттметра



Three-phase W-meter – трехфазный ваттметр

Рис. 84. Принцип измерения мощности в четырехпроводной трехфазной системе с использованием трехфазного ваттметра

Трехфазный ваттметр измеряет все трехфазные напряжения, токи и сдвиги между напряжениями и токами. На основе этого он может вычислить три уровня мощности отдельно для каждой фазы также как и суммарный уровень трехфазной системы.

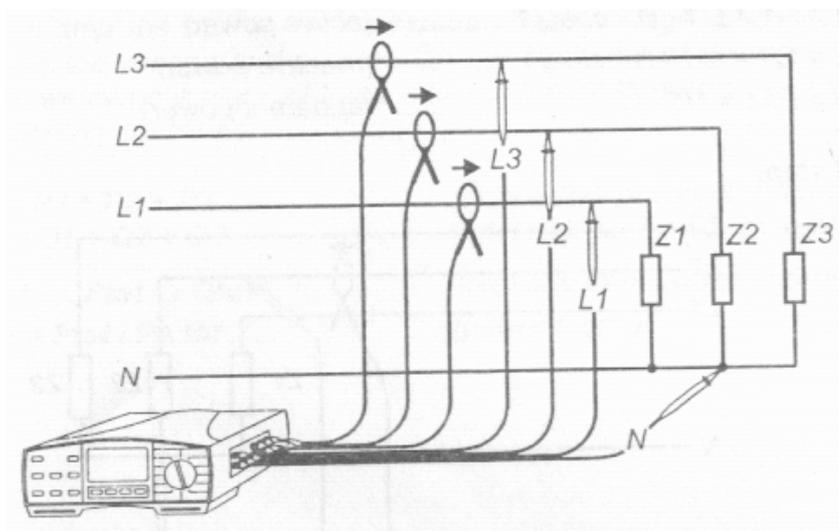


Рис. 85. Измерение мощности в четырехпроводной трехфазной системе с использованием Power Meter

Все три уровня мощности могут быть прочитаны непосредственно на дисплее. Этот метод допускает измерение мощности во всех трех фазах одновременно и особенно подходит

Измерения в электроустановках в теории и на практике

для несимметричной мощности. В случае симметричной мощности, может использоваться один ваттметр, который в три шага помещается во все три фазы. См. представление метода в следующей главе.

б) Метод однофазного ваттметра

Там где имеются несимметричные трехфазные нагрузки или однофазные нагрузки, подключаемые обычно к четырехпроводной системе, необходимо измерять мощность во всех трех фазах (не возможно измерить только одну фазу и вычислить мощность во всей трехфазной системе). Измерение, использующее Eurotest 61557, выполняется в три шага, причем каждый шаг эквивалентен измерению в однофазной системе.

Первый шаг:

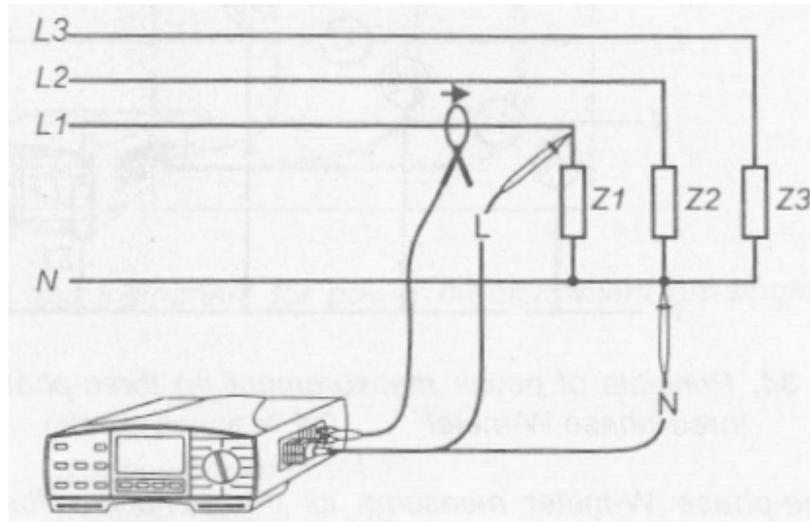


Рис. 86. Измерение мощности в трехфазной системе (первый шаг)

Результат 1 = $P_1 = U_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1$ (Активная мощность)

Результат 2 = $Q_1 = U_1 \cdot I_1 \sin \varphi_1$ (Реактивная мощность)

Результат 3 = $PA_1 = U_1 \cdot I_1$ (Полная мощность)

Второй шаг

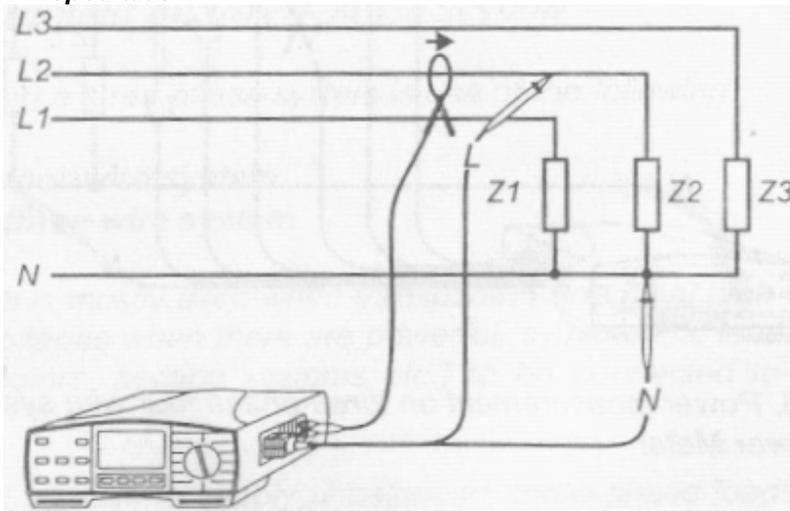


Рис. 87. Измерение мощности в трехфазной системе (второй шаг)

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Результат 1 = $P_2 = U_2 * I_2 \cos \varphi_2$ (Активная мощность)

Результат 2 = $Q_2 = U_2 * I_2 \sin \varphi_2$ (Реактивная мощность)

Результат 3 = $PA_2 = U_2 * I_2$ (Полная мощность)

Третий шаг:

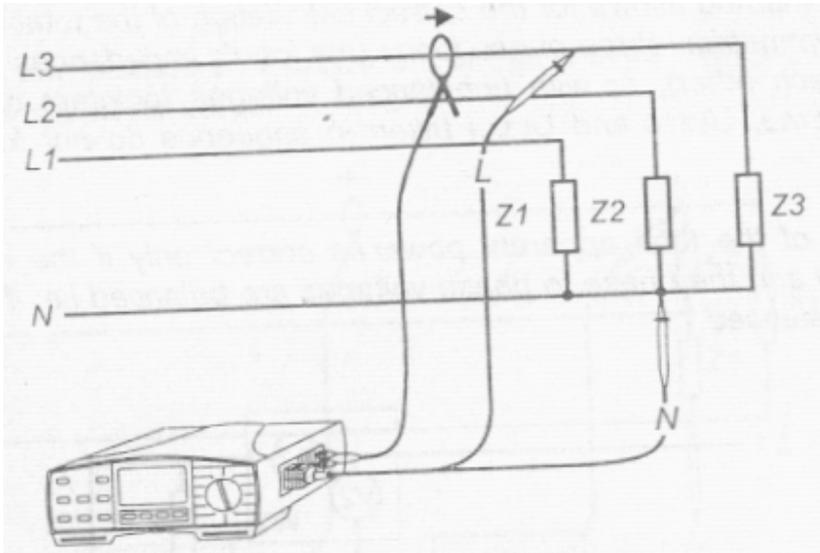


Рис. 88. Измерение мощности в трехфазной системе (третий шаг)

Результат 1 = $P_3 = U_3 * I_3 \cos \varphi_3$ (Активная мощность)

Результат 2 = $Q_3 = U_3 * I_3 \sin \varphi_3$ (Реактивная мощность)

Результат 3 = $PA_3 = U_3 * I_3$ (Полная мощность)

На каждом шаге прибор измеряет фазное напряжение мер, фазный ток и сдвиг между напряжением и током. На основании измеренных результатов для каждой фазы мы можем вычислить все три суммарные мощности трехфазной системы в соответствии со следующими уравнениями:

$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$ (суммарная активная мощность трехфазной системы)

$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3$ (суммарная реактивная мощность трехфазной системы)

$PA_{tot} = \sqrt{P_{tot}^2 + Q_{tot}^2}$... (суммарная полная мощность трехфазной системы)

$PF_{tot} = P_{tot} / PA_{tot}$ (коэффициент мощности)

Измерение мощности в трехпроводной системе

а) Метод двух однофазных ваттметра (схема Арона)

Если нас интересует только суммарная мощность трехфазной системы, а не отдельно мощность в каждой фазе, то тогда может быть использован метод двух ваттметров в схеме включения Арона. Включение двух ваттметров представлено на рисунке ниже. Метод пригоден для правильного вычисления суммарной активной мощности даже при несимметричных трехфазных нагрузках (импедансы нагрузок в фазах не равны друг другу), или при несимметричных напряжениях (векторы межфазных напряжений $U_{L1/L2}$, $U_{L2/L3}$ и $U_{L3/L1}$, взятые последовательно, не образуют равностороннего треугольника).

Вычисление суммарной полной мощности верно только, если присоединенная нагрузка симметрична и симметричны межфазные напряжения, то есть если источник питания симметричен.

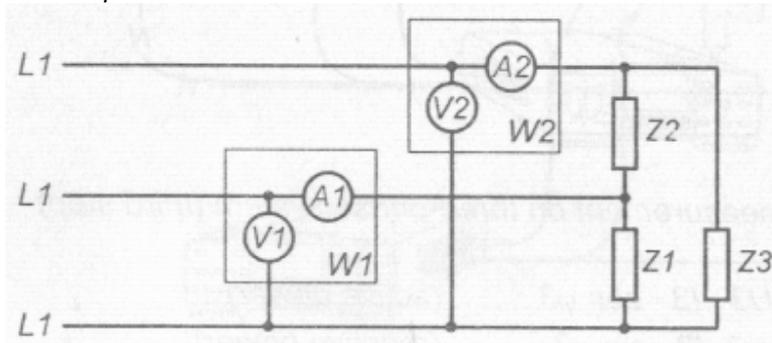


Рис. 89. Принцип измерения мощности в трехпроводной трехфазной системе с использованием метода двух ваттметров

Этот метод может также использоваться при измерении с Eurotest 61557. Но в этом случае необходимо проводить измерение в два этапа и впоследствии вычислять суммарную мощность. Эта процедура объясняется ниже.

Первый шаг:

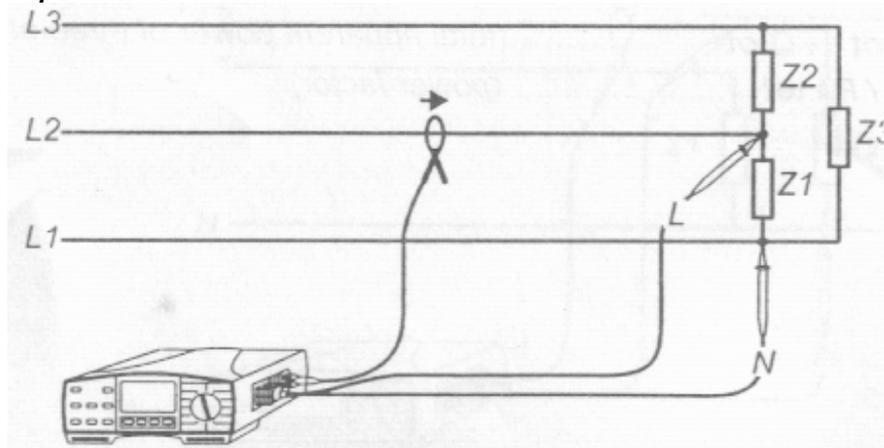


Рис. 90. Измерение мощности с использованием Eurotest 61557 (первый шаг)

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Результат 1 = $U_{L2/L1} I_{L2} \cos \delta = P_{L2/L1}$

Результат 2 = $U_{L1/L2} i_{L2} = P_{A L1/L2}$

где

δ сдвиг между межфазным напряжением $U_{L2/L1}$ и током I_{L2} .

Второй шаг:

Токовые клещи и испытательный электрод напряжения должны быть перемещены с проводника L2 к проводнику L3, и измерение надо повторить.

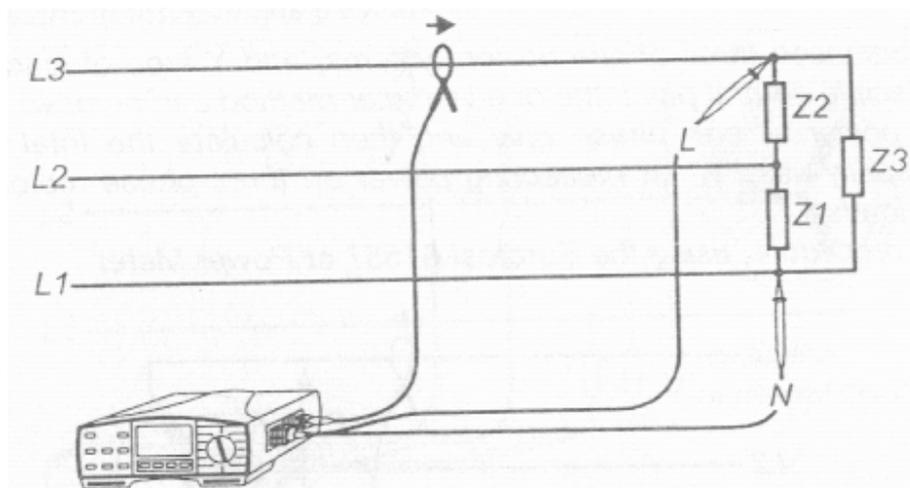


Рис. 91. Измерение мощности с использованием Eurotest 61557 (второй шаг)

Результат 1 = $U_{L3/L1} I_{L3} \cos \delta = P_{L3/L1}$

где

δ сдвиг между межфазным напряжением $U_{L3/L1}$ и током I_{L3} .

Суммарная активная мощность и полная мощность могут быть рассчитаны в соответствии со следующими уравнениями:

$P_{tot} = P_{L2/L1} + P_{L3/L1}$ (суммарная активная мощность)

$P_{A tot} = P_{A L2/L1} * 1,732$(суммарная полная мощность)

$P_{F tot} = P_{tot} / P_{A tot}$(коэффициент мощности)

Внимание!

- Если необходимо гарантировать правильную полярность испытательных электродов напряжения также как токовых клещей (см. маркировки на испытательных проводниках и токовых клещах), иначе вычисленный результат может быть неверен.
- Если измеренная мощность имеет отрицательное значение (возможно вызванная большой задержкой или отставанием между фазным напряжением и фазным током), то в последнем вычислении должен использоваться знак "минус"!
- Необходимо знать, что измеренные результаты не имеют никакого реального значения, они могут использоваться только для окончательного вычисления суммарной мощности!

Измерения в электроустановках в теории и на практике

- Вычисленная суммарная активная мощность верна независимо от возможной несимметричности системы электропитания (несимметричные нагрузки или несимметричные межфазные напряжения).

Рассчитанная суммарная полная мощность верна только, если система питания трехфазного источника энергии симметрична. То же верно для вычисления коэффициента мощности! Измеренные полные мощности на обоих шагах равны друг другу, если имеется симметричная система электропитания.

в) Метод для симметричных систем трехфазного источника энергии

В случае симметричных трехфазных систем питания и подключения нагрузки «звездой» с доступной точкой нейтрали может использоваться метод с одним ваттметром. Этого достаточно для измерения мощности только за один шаг и затем вычислить суммарную мощность. Метод обычно используется при измерении мощности трехфазных электродвигателей или аналогичных симметричных нагрузок.

Ниже приведена процедура измерения с использованием Eurotest 61557 или Power Meter.

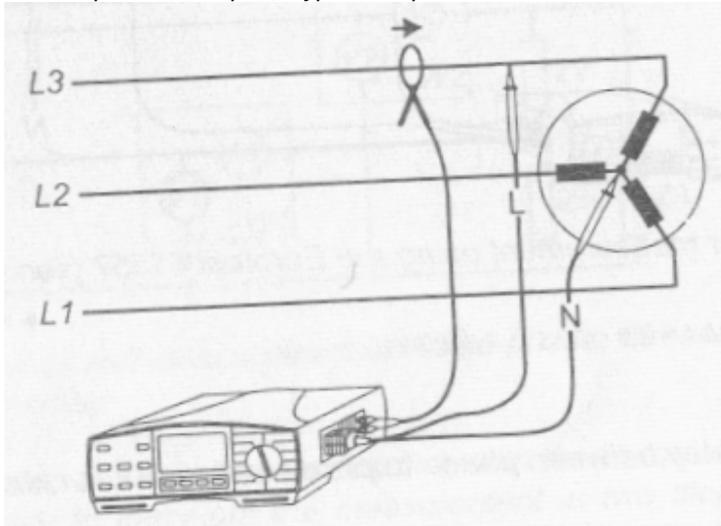


Рис. 92. Подключение контрольно-измерительного прибора

Результат 1 = $U_{L3} \cdot I_{L3} \cos \varphi_1 = P_1$(активная мощность)

Результат 2 = $U_{L3} \cdot I_{L3} \sin \varphi_1 = Q_1$(реактивная мощность)

Результат 3 = $U_{L3} \cdot I_{L3} = PA_1$(полная мощность)

Результат 4 = $P_1/PA_1 = PF_1$(коэффициент мощности)

Вычисление суммарной мощности трехфазной системы

$P_{tot} = 3 \cdot P_1$(суммарная активная мощность трехфазной системы)

$Q_{tot} = 3 \cdot Q_1$(суммарная реактивная мощность трехфазной системы)

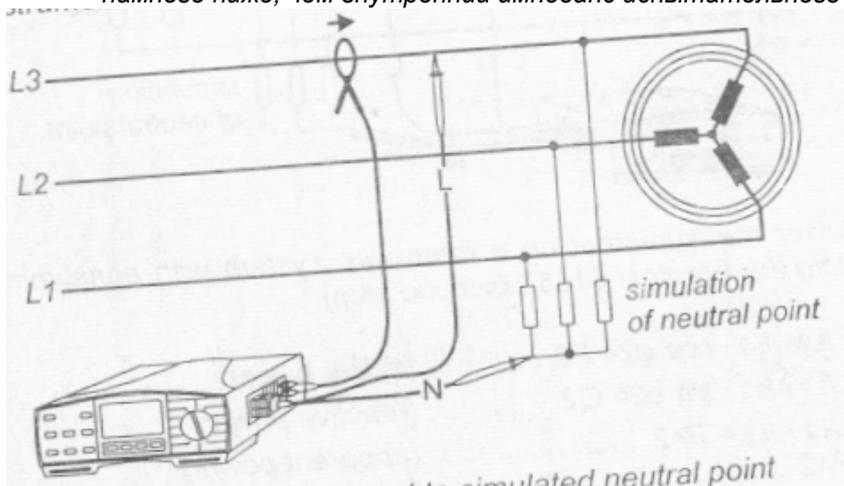
$PA_{tot} = 3 \cdot PA_1$(суммарная полная мощность трехфазной системы)

$PF_{tot} = P_{tot} / PA_{tot} = PF_1$(суммарный коэффициент мощности)

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Внимание!

- Необходимо проверить, действительно ли присоединенная нагрузка симметрична. Это можно сделать, измеряя все трехфазные токи, которые должны быть точно равны друг другу при симметричных межфазных напряжениях!
- Если точка нейтрали в присоединенной не доступна (из-за механической защиты, подключения треугольником и т.д.), то можно использовать точку нейтрали силового генератора (трансформатора) при условии, конечно, что это возможно. Если межфазные напряжения симметричны, то можно создать искусственную точку нейтрали, используя три резистора (см. рисунок ниже). При использовании искусственной нейтрали необходимо знать что внутреннее сопротивление резисторного делителя напряжения должно быть намного ниже, чем внутренний импеданс испытательного прибора на частоте сети.



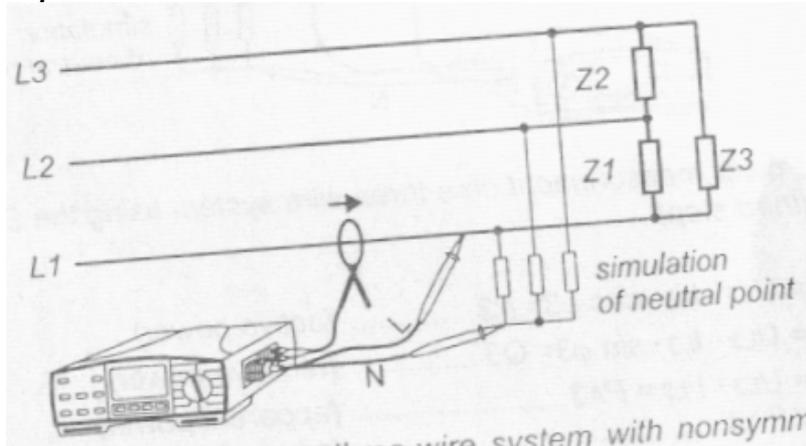
Simulation of neutral point – моделирование нейтральной точки

Рис. 93. Подключение контрольно-измерительного прибора к искусственной точке нейтрали.

с) Метод одного ваттметра для несимметричных нагрузок

Измерение должно быть проведено в три этапа (отдельно в каждой фазе). При использовании Eurotest 61557 измерение может быть выполнено точно также как в однофазной системе за исключением того, что измерительная точка нейтрали должна быть взята в источнике питания или промоделирована (совершенно не точка нейтрали несимметричной нагрузки). Конечно, это допустимо для симметричных межфазных напряжений. Измерения должны выполняться отдельно в каждой фазе.

Первый шаг:



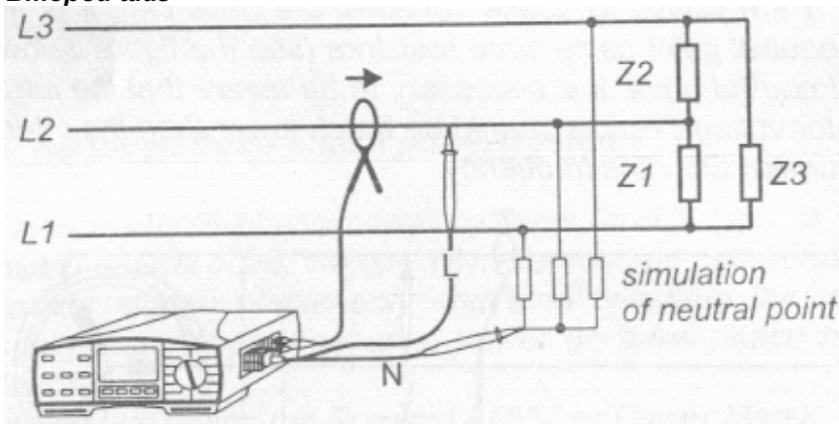
Simulation of neutral point – моделирование нейтральной точки

Рис. 94. Измерение мощности в трехпроводной системе с несимметричными нагрузками при использовании Eurotest 61557 (первый шаг)

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Результат 1 = $UL1 * IL1 \cos \varphi1 = P1$(активная мощность)
 Результат 2 = $UL1 * IL1 \sin \varphi1 = Q1$(реактивная мощность)
 Результат 3 = $UL1 * IL1 = PA1$(полная мощность)
 $P1/PA1 = PF1$(коэффициент мощности)

Второй шаг

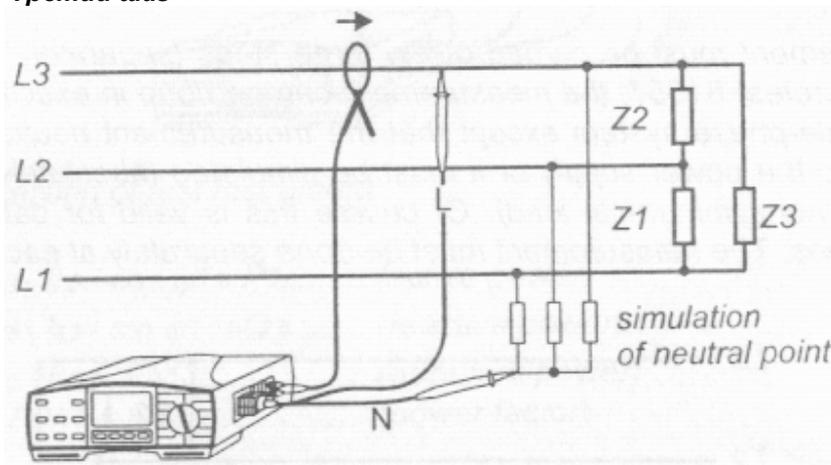


Simulation of neutral point – моделирование нейтральной точки

Рис. 95. Измерение мощности в трехпроводной системе с несимметричными нагрузками при использовании Eurotest 61557 (второй шаг)

Результат 1 = $UL2 * IL2 \cos \varphi2 = P2$(активная мощность)
 Результат 2 = $UL2 * IL2 \sin \varphi2 = Q2$(реактивная мощность)
 Результат 3 = $UL2 * IL2 = PA2$(полная мощность)
 $P2/PA2 = PF2$(коэффициент мощности)

Третий шаг



Simulation of neutral point – моделирование нейтральной точки

Рис. 96. Измерения мощности в трехпроводной системе при использовании Eurotest 61557 (третий шаг)

Результат 1 = $UL3 * IL3 \cos \varphi3 = P3$(активная мощность)
 Результат 2 = $UL3 * IL3 \sin \varphi3 = Q3$(реактивная мощность)
 Результат 3 = $UL3 * IL3 = PA3$(полная мощность)
 $P3/PA3 = PF3$(коэффициент мощности)

Измерения в электроустановках в теории и на практике

На основе вышеупомянутых измерений можно вычислить все три уровня мощности трехфазной системы согласно следующим уравнениям:

$$\begin{aligned} P_{tot} &= P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots (\text{суммарная активная мощность трехфазной системы}) \\ Q_{tot} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots (\text{суммарная реактивная мощность трехфазной системы}) \\ P_{Atot} &= \sqrt{P_{tot}^2 + Q_{tot}^2} \dots\dots\dots (\text{суммарная полная мощность трехфазной системы}) \\ PF_{tot} &= P_{tot} / P_{Atot} \dots\dots\dots (\text{коэффициент мощности}) \end{aligned}$$

5.17. ЭНЕРГИЯ

Если имеется постоянное потребление мощности в определенной нагрузке, тогда можно вычислить потребленную энергию на основе мощности нагрузки и времени потребления. Если мощность переменная (регулируемые нагреватели, периодически работающие двигатели и т.д.), энергия не может быть рассчитана, но должна быть измерена. Также необходимо измерять энергию (она не может быть рассчитана), если мощность нагрузки не известна. По этой причине испытательный прибор Eurotest 61557 может измерять потребляемую энергию в однофазных сетевых нагрузках. Ниже показано подключение испытательного прибора.

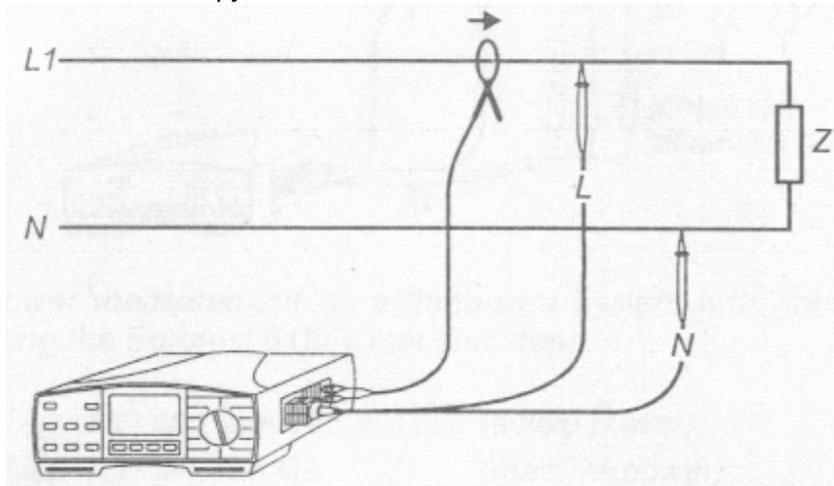


Рис. 97. Измерение энергии в однофазной системе

Испытательный прибор измеряет фазное напряжение U , ток в фазе (с помощью токовых клещей) и фазу φ между напряжением и током. На основании этих данных вычисляется потребляемая энергия согласно следующим уравнениям:

$$W = U * I \cos \varphi t = P t$$

где

Wэнергия.

Uфазное напряжение.

Iток в фазе.

φфазовый сдвиг между напряжением U и током I .

tвремя потребления.

Pактивная мощность.

Измерение энергии при использовании испытательного прибора Eurotest 61557 ограничивается 25 часами.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

5.1.8. ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Рассмотрение гармонических составляющих несколько лет назад считалось чисто академическим и абсолютно не практическим, почти мистическим. Проблемы, вызываемые гармониками теперь намного более значимы, и могут вызывать дорогостоящий ущерб в распределительных системах и электрических нагрузках. Вот почему любой электрик может встретиться с необходимостью управления гармониками в их повседневной работе. Благодаря высокоэффективным, простым в использовании, переносным приборам, теперь это измерение является весьма простым.

Искажение сетевого напряжения и тока, и поэтому появление гармонических компонент должно ожидаться в эру современной электроники с широким разнообразием различной электронной аппаратуры, подключаемой к распределительным системам. В общем, гармоники отрицательно влияют как на электрические нагрузки, так и на источники питания и электрические установки. Качество электроэнергии благодаря их наличию также уменьшается.

Как можно обнаружить наличие гармонических составляющих?

- Присоединенные нагрузки (двигатели, трансформаторы и т.д.) начинают перегреваться.
- Увеличиваются потери в системах распределения электроэнергии, вызывая необходимость сброса нагрузки
- Регулируемые двигатели начинают работать нестабильно из-за неправильного переключения электронных схем при пересечении нулевого уровня напряжения.
- Высокоэнергетические силовые трансформаторы блока питания начинают перегреваться, вызывая необходимость сброса нагрузки
- Электронные предохранители, которые реагируют на пиковые значения тока нагрузки, начинают срабатывать.
- Стабильность результатов испытаний при некоторых измерениях в электрических установках (импеданс линии / петли, мощность, напряжение, ток и т.д.) уменьшается также из-за неправильного переключения электронных схем при пересечении нулевого уровня напряжения.

Почему возникают гармонические составляющие?

Различные нелинейные нагрузки (особенно большой мощности) такие как преобразователи переменного тока в постоянный, регуляторы двигателей, персональные компьютеры, станки с числовым программным управлением в промышленности и т.д. чаще всего могут вызывать появление токов в виде коротких импульсов, а не в виде плавно меняющегося тока, как было бы желательно. Из-за таких импульсов тока падение напряжения той же самой формы возникает на проводниках нейтрали и фазных проводниках, также как и на источниках питания (трансформаторах). Результат этих падений напряжения - искажение сетевого напряжения, которым могут снабжаться другие, некритические нагрузки.

Второй причиной, из-за которой могут появляться гармонические составляющие, является неблагоприятное месторасположение индуктивных и/или емкостных нагрузок, которые могут вызывать колебания в электрической сети и, как следствие, появление гармоник.

Ниже приведен пример гармонических составляющих, вызванных простым преобразователем переменного тока в постоянный, таким как мощное зарядное устройство автомобиля.

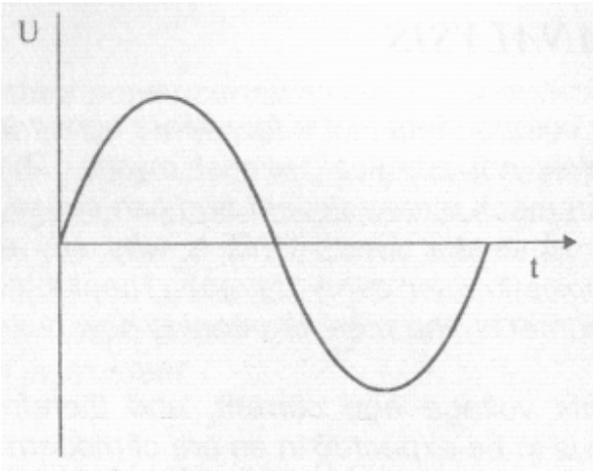


Рис. 98. Форма чистого (неискаженного) синусоидального напряжения, которым запитывается преобразователь переменного тока в постоянный.

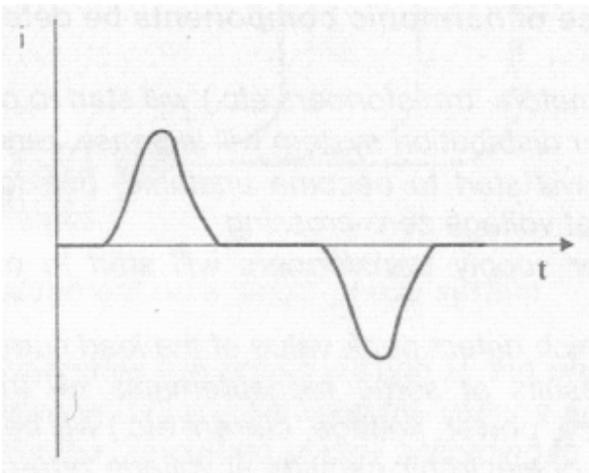


Рис. 99. Форма искаженного тока, потребляемого преобразователем переменного тока в постоянный.

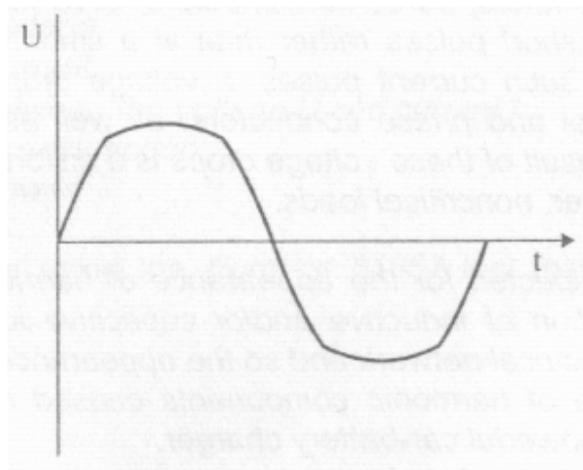


Рис. 100. Форма сетевого напряжения, искаженного из-за падения напряжения на проводниках и внутреннем импедансе источника электропитания.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

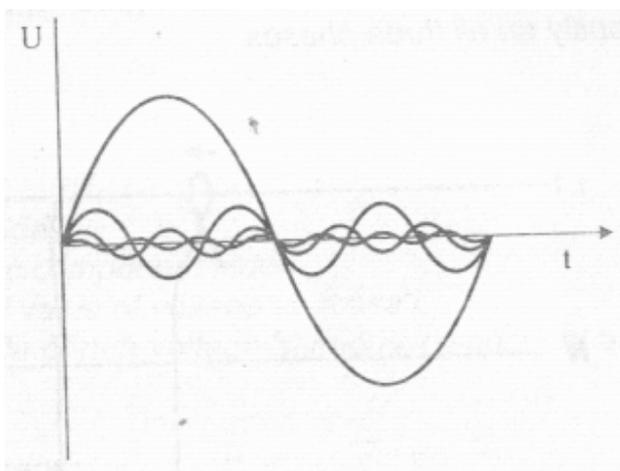
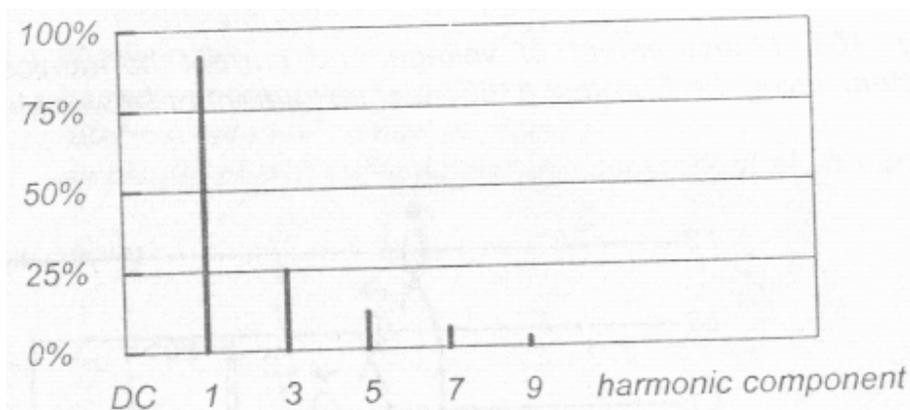


Рис. 101. Представление искаженного напряжения (см. рис. 101), анализируемого с помощью преобразования Фурье, в виде основной (фундаментальной) частоты и гармоник. Это представление во временной области.



Harmonic component - гармоническая компонента

Рис. 102. Представление искаженного напряжения (см. рис. 101), анализируемого с помощью преобразования Фурье, в виде основной (фундаментальной) частоты и гармоник. Это представление в частотной области.

Интенсивность гармонических компонент может быть представлена непосредственно в вольтах или в процентах относительно основного компонента.

Измерение гармоник в вольтах обычно проводится при проверке качества сетевого напряжения в целом. Если мы ищем виновников искажений (генераторы гармонических составляющих), тогда желательно измерять гармоники тока.

Испытательный прибор Eurotest 61557 может выполнять индикаторные измерения нечетных гармоник напряжения и тока до 21-й включительно. Цель измерения - оценка интенсивности существующих гармоник. В критической ситуации необходимо использовать профессиональные испытательные приборы типа Power Meter, производимые METREL.

Анализатор – это профессиональный испытательный прибор, который позволяет проводить анализ вплоть до 50-й гармоники. С другой стороны, он может выполнять анализ гармоник напряжения и тока в реальном времени в трехфазной системе, включая запись результатов испытаний. Он может также выполнять

Измерения в электроустановках в теории и на практике

измерения мощности всех трех типов (активной, реактивной и полной) одновременно во всех трех фазах.

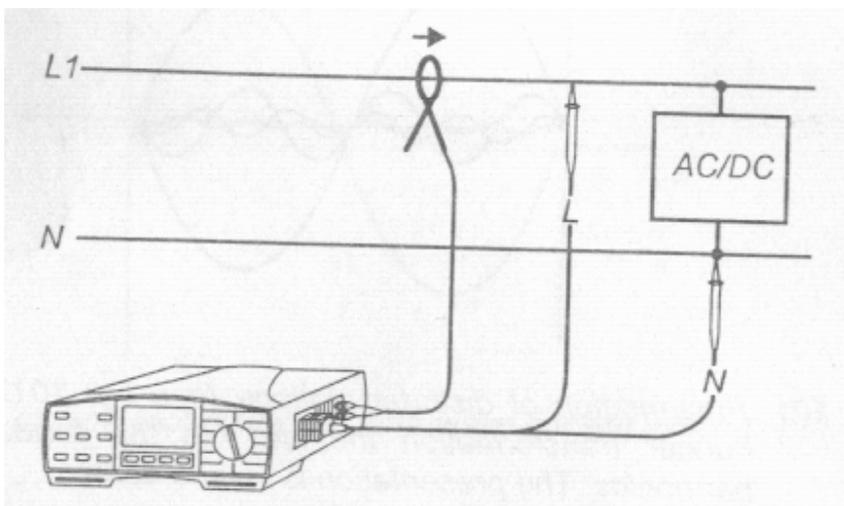


Рис. 103. Измерение гармоник напряжения и тока в однофазной системе с использованием испытательных приборов Eurotest 61557 или Power Meter

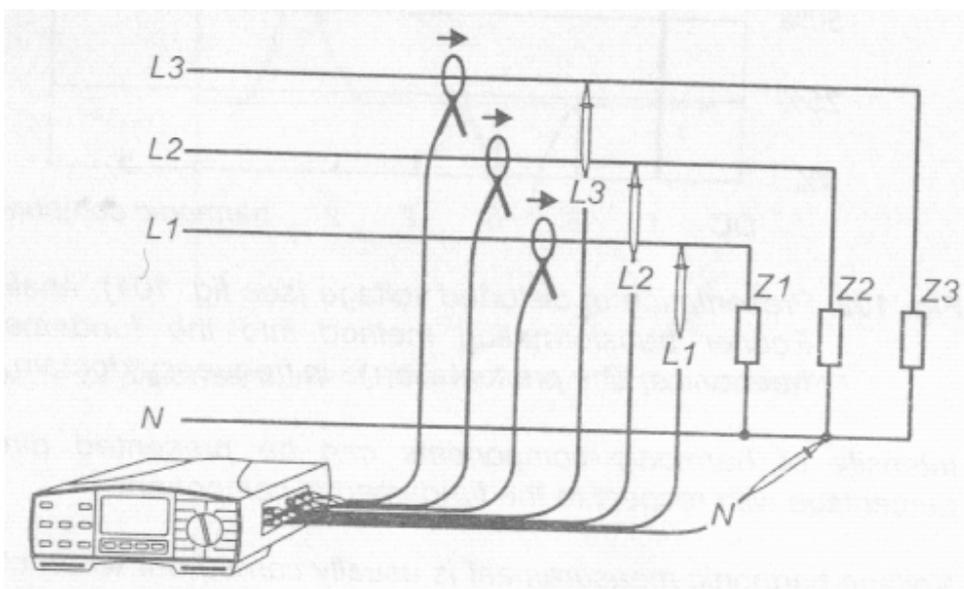


Рис. 104. Измерение гармоник напряжения и тока в трехфазной системе с использованием профессионального испытательного прибора Power Meter

Полезные уравнения:

Если гармонические компоненты присутствуют в системе распределения, то все простые вычисления мощности неверны. Ниже даны некоторые полезные основные уравнения, которые справедливы при искаженных напряжениях и токах.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Действующее значение напряжения

$$U_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_n U_{n,i}^2}$$

где

i индекс фазы

n номер гармоники

U_i действующее значение напряжения в фазе i

$U_{n,i}$ амплитуда n -той гармоники напряжения в фазе i

Действующее значение тока

$$I_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_n I_{n,i}^2}$$

где

i индекс фазы

n номер гармоники

I_i действующее значение тока в фазе i

$I_{n,i}$ амплитуда n -той гармоники тока в фазе i

Фазная активная мощность

$$P_i = \frac{1}{2} \sum_n U_{n,i} \cdot I_{n,i} \cdot \cos \varphi_{n,i}$$

где

i индекс фазы

n номер гармоники

P_i активная мощность всех гармоник в фазе i

$U_{n,i}$ амплитуда n -той гармоники напряжения в фазе i

$I_{n,i}$ амплитуда n -той гармоники тока в фазе i

$\varphi_{n,i}$ фазовый сдвиг между n -той гармоникой напряжения и n -той гармоникой тока в фазе i

Суммарная активная мощность

$$P_{tot} = \sum_i P_i$$

где

i индекс фазы

..... суммарная активная мощность всех гармоник во всех фазах

..... активная мощность всех гармоник в фазе i

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Полная мощность фазы

$$P_{Ai} = U_i \cdot I_i = \frac{1}{2} \sqrt{\sum_n U_{n,i}^2} \cdot \sqrt{\sum_n I_{n,i}^2}$$

i	индекс фазы
n	номер гармоники
P_{Ai}	полная мощность всех гармоник в фазе i
U_i	действующее значение напряжения в фазе i
I_i	действующее значение тока в фазе i
$U_{n,i}$	амплитуда n -ой гармоники напряжения в фазе i
$I_{n,i}$	амплитуда n -ой гармоники тока в фазе i

Суммарная полная мощность

$$P_{Atot} = \sum_i P_{Ai}$$

где

iиндекс фазы

P_{Atot} суммарная полная мощность всех гармоник во всех фазах

P_{Ai} полная мощность всех гармоник в фазе i

Коэффициент мощности PF

$$PF_i = \frac{P_i}{P_{Ai}}$$

где

i индекс фазы

PF_iкоэффициент мощности в фазе i

P_iактивная мощность всех гармоник в фазе i

P_{Ai} полная мощность всех гармоник в фазе i

Средний коэффициент мощности PF_{avr}

$$PF_{avr} = \frac{\sum_i P_i}{\sum_i P_{Ai}}$$

где

i индекс фазы

PF_{avr} средний коэффициент мощности всех фаз

P_iактивная мощность всех гармоник в фазе i

Измерения в электроустановках в теории и на практике

P_{ai} полная мощность всех гармоник в фазе i

Также как важна интенсивность отдельных гармоник, также важно знать коэффициент искажения синусоидальности напряжения или тока (THD) в определенной фазе. Его можно рассчитать согласно следующему уравнению:

Для напряжения

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{n,n=1} U_{n,i}^2}}{U_{1,i}}$$

где

$THDi$коэффициент искажения синусоидальности напряжения в фазе i

$U_{n,i}$ амплитуда n -ой гармоники напряжения в фазе i

$U_{1,i}$ амплитуда основной гармоники напряжения в фазе i

Для тока

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{n,n=1} I_{n,i}^2}}{I_{1,i}}$$

где

$THDi$ коэффициент искажения синусоидальности тока в фазе i

$I_{n,i}$амплитуда n -ой гармоники тока в фазе i

$I_{1,i}$амплитуда основной гармоники тока в фазе i

6. ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОИЗВОДИМОГО METREL d.d.

При анализе широкой номенклатуры электрического испытательного оборудования, в настоящее время представленного на рынке множество недостатков станет очевидным. Эти недостатки имеют такую природу как вовлечение оператора во все увеличивающееся участие (типа создания графика работы, создание отчетов об инспекции, а также регистрация и копирование результатов испытаний), это занимает ценное время, которое могло бы быть потрачено в более выгодных сферах деятельности,

Вот то, что побудило METREL сфокусировать свою энергию на преодолении этих недостатков при развитии своего самого последнего семейства многофункциональных испытательных приборов. Его основная цель была - создать удобные инструменты, которые могут помочь пользователю в широком круге его испытательской деятельности.

Широкий диапазон действий означает всеобъемлющую процедуру, начиная с предварительной подготовки, проводимой оператором, продолжая визуальным осмотром установки, измерений, испытаний на функционирование электрического оборудования и заканчивая печатанием окончательного протокола. Давайте исследуем этот процесс на следующих страницах и попробуем понять основы процедуры.

Чтобы достигнуть вышеупомянутой цели, целая процедура должна быть рассмотрена и внедрена в испытательное оборудование (испытательные приборы плюс программное обеспечение персонального компьютера (ПК)). Обращаем Ваше внимание на эту процедуру как на технологию выполнения измерения. Ее цель - помочь операторам сделать их работу как можно более простой и увеличить ее скорость, таким образом снижая затраты и увеличивая производительность.

Для улучшения понимания вся процедура может быть разделена на три основные части:

Измерения в электроустановках в теории и на практике

ПОДГОТОВКА

- Визуальный осмотр проверяемого объекта.
- Подготовка планов установки
- Ввод структуры установки в ПК и затем в Eurotest 61557.

ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

- Реализация измерений и сохранение результатов испытаний в подготовленной форме.
- Тест на функционирование подключенного оборудования (нагрузок).

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ПРОТОКОЛА

- Перенесение запасенных результатов в ПК.
- Занесение основных данных о заказчике и проверяемой установке в ПК.
- Распечатка заключительного протокола, включая результаты испытаний.

Визуальный осмотр испытываемого оборудования

Если измерения уже были проводились в соответствии с этой технологией на определенном участке (периодическая проверка), тогда целью осмотра является только обнаружение любых потенциальных изменений в установке по сравнению с предыдущим осмотром.

Если измерения должны быть проведены в соответствии с этой технологией в первый раз, тогда установка действительно не известна оператору, так что осмотр должен быть проведен для того, чтобы оператор обнаружил и записал некоторые из основных характеристик установки типа:

- Адрес проверяемого участка, тип распределительного трансформатора, дистрибутор электрической энергии и т.д.
- Тип установки относительно его системы заземления (TN-C, TN-S, TN-C-S, TT или IT) – см. страницы 14 и 15.
- Число панелей распределения (шкафы предохранителей), включая и их маркировки
- Число и тип петель тока (петли предохранителей) в каждой панели распределения.
- Тип системы защиты, используемой против удара током при непрямом прикосновении (RCD устройство защиты, автоматические предохранители от сверхтока - тип?, плавкие предохранители по току - тип?, непроводящие помещения, изолированные источники питания, безопасное напряжение и т.д.).

Измерения в электроустановках в теории и на практике

- Тип системы заземления (стержневой тип, полосовой тип, химически активный тип и т.д.).
- Конструкция системы заземления (один электрод заземления, много электродов заземления, наземное соединение между столбами, подземное соединение между столбами, подсоединение стержней громоотвода к проверяемой системе заземления, подсоединение заземления распределения к проверяемой системе заземления и т.д.).
- Наличие устройств защиты от перенапряжения.
- Сечения проводников защиты.
- Осмотр подсоединения проводников защиты к коллектору (МРЕС) главного выравнивания потенциалов.
- Осмотр подсоединения проводников защиты к коллектору (РСС) проводников защиты в каждом распределительном шкафу.
- Осмотр главного выравнивания
- Осмотр дополнительного выравнивания.
- Маркировка отдельных частей установки (распределительные щиты, предохранители, выключатели и т.д.) и их соответствие инструкциям.
- Цвета проводников.
- Подсоединение проверяемой установки к системе распределения (наземное, подземное).
- И т.д.

При выполнении вышеперечисленных действий оператор может использовать испытательный прибор Eurotest 61557, который кроме измерений, заданных инструкциями, также предлагает широкий диапазон вспомогательных испытаний и измерений типа: трассировка проводников установки, трассировка устройств защиты от сверхтока, нахождение мест повреждения, измерение мощности, измерение энергии, измерение тока, тест клеммы РЕ (в присутствии фазного напряжения), испытания устройств защиты от перенапряжения и т.д.

Вышеупомянутые характеристики должны быть вручную занесены в незаполненный бланк окончательного протокола и позже перенесены в ПК. Они будут автоматически включены в окончательный протокол при выводе на печать.

Подготовка схем установки

Для гарантирования того, что оператор понимает свои действия и для выполнения измерений разумным способом, необходимо подготовить обновленную схему в соответствии с фактическим состоянием установки. Если схема уже существует, тогда оператор нуждается только в проверке (или внесении) соответствующей маркировки частей установки таких, как распределительные панели, петли тока, системы молниезащиты, отдельные заземляющие стержни системы молниезащиты, соединения между стержнями заземления, коллекторы основного потенциального выравнивания (МРЕС), подключения к МРЕС, системы заземления, подключенные к МРЕС и т.д. Если схемы не существует (старая или модернизированная установка), тогда желательно составить ее для гарантирования, что любые дальнейшие действия будут выполнены в быстро и эффективно. Желательно также вставить все вышеупомянутые маркировки частей установки.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Ввод структуры установки в ПК и затем в Eurotest 61557.

Структура электрической установки – это схема электрической установки, передаваемая в форме, приемлемой для установки в ПК и затем в испытательный прибор Eurotest 61557. Структура также включает все сопутствующие маркировки частей установки. Структура, будучи введенной в испытательный прибор предлагает простое и прозрачное запоминание результатов испытаний в подготовленные и промаркированные ячейки памяти. Это также позволяет ввести некоторые атрибуты измерения (параметры, которые будут измерены) к некоторой локализации измерения (петля тока, МРЕС и т.д.) заранее посредством ПК. Таким образом, оператор может проверить в любое время, какие измерения еще должны быть сделаны и где. При выполнении измерения и запоминании результатов испытаний оператор руководствуется Eurotest 61557, который показывает фактические названия мест измерений.

Для того, чтобы процедура введения структуры была простой и повторимой независимо от тестируемого оборудования, соответствующее программное обеспечение имеет заранее подготовленную модель структуры.

Программное обеспечение ПК разработано для интерактивного режима работы с оператором при установке процедуры, равно как и при проведении других действий, которые оператор проводит на ПК.

Модель структуры предлагает общие названия частей установки типа

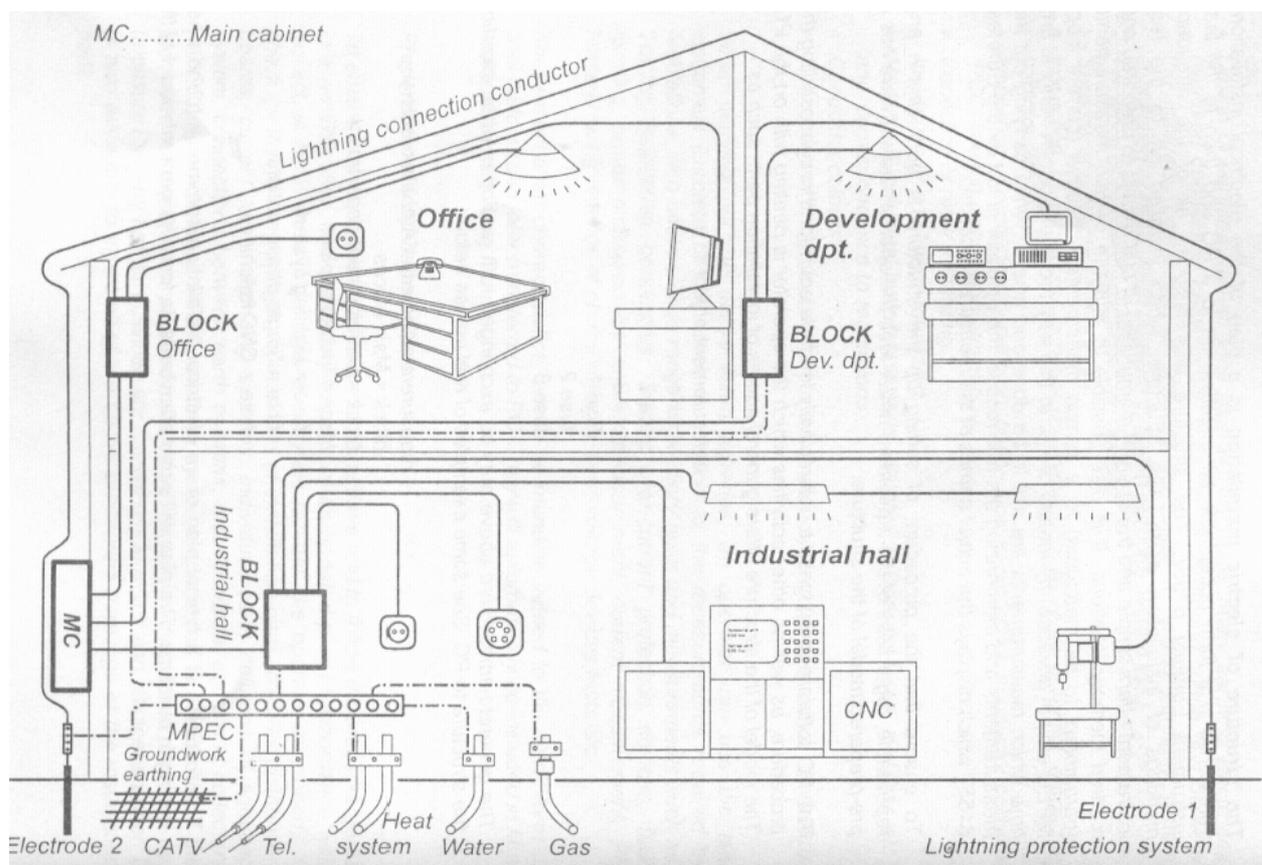
- Объект измерения 1
- Блок 1
- Блок 2
- Блок 3
- Предохранитель 1
- Предохранитель 2
- Предохранитель 3

Общие названия, внесенные в список выше могут быть заменены реальными именами при вводе структуры в ПК. См. некоторые примеры реальных названий ниже

- Объект измерения = фабрика Alphatek
- Блок = Главные офисы
- Блок = Отдел опытно-конструкторских работ
- Блок = Промышленная установка
- Предохранитель = система освещения
- Предохранитель = однофазные розетки
- Предохранитель = станок с числовым программным управлением

Ниже приведен типичный план электрической установки, обычно встречающийся при испытаниях в строениях. Эта схема пригодится впоследствии при формировании общей модели структуры.

Измерения в электроустановках в теории и на практике



Main cabinet – основной шкаф

Lightning connection conductor – соединительный проводник грозозащиты

Lightning protection system – система грозозащиты

Office – офис

Industrial hall – промышленный зал

Development dpt. – отдел ОКР

Electrode – электрод

CATV – кабельное телевидение

Tel. – телефон

Heat system – нагревательная система

Water – вода

Gas – газ

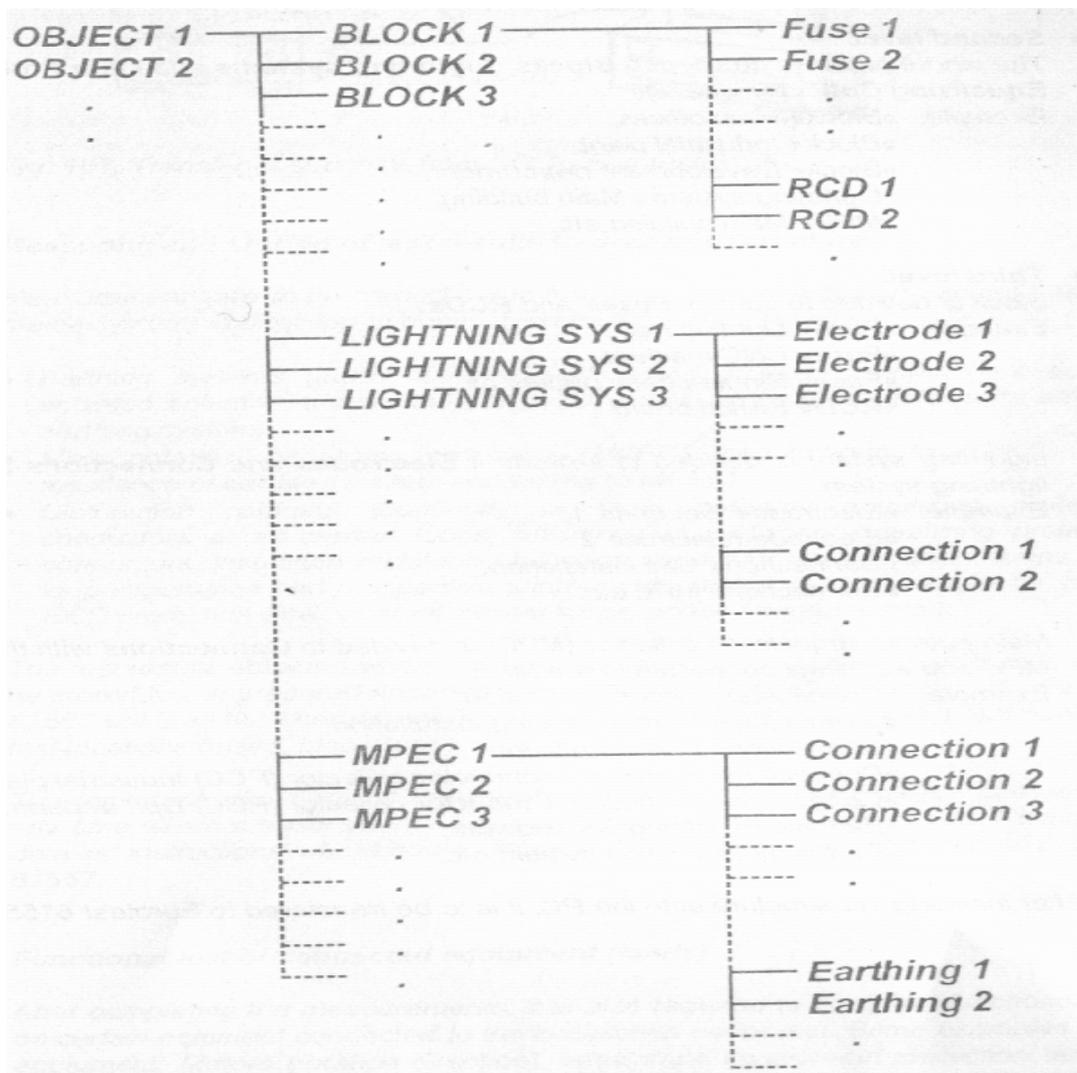
CNC – числовое программное управление

Block - блок

Рис. 105. Схема обобщенной электрической установки.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Общая модель структуры электрической установки (см. рисунок ниже) может быть создан на основе обобщенной установки, представленной выше. Модели может быть использована при вводе структуры электрической установки в ПК и в Eurotest 61557 независимо от любых потенциальных отклонений фактической реальной установки. Отклонения должны быть встроены в эту модель.



Object – объект

Fuse – предохранитель

Lightning sys – систем грозозащиты

Electrode – электрод

Connection - соединение

Earthing - заземление

Рис. 106. Общая модель структуры электрической установки, подходящей для ввода структуры в ПК и в Eurotest 61557.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Описание представленной выше модели

- **Первый уровень.**

Объект - основное место, где будут проводиться все измерения.

Пример: фабрика Atphatek

- **Второй уровень.**

Весь объект делится на **Блоки, Системы освещения и Коллекторы главного выравнивания потенциала (МРЕ)**

Пример: »Блок«Главные офисы,

»Блок«Промышленная установка,

»Блок«Отдел опытно-конструкторских работ,

»Система освещения« Основное здание,

»МРЕ« Основное здание и т.д.

Предохранитель = однофазные розетки

Предохранитель = станок с числовым программным управлением

- **Третий уровень.**

Блок делится на различные **Предохранители, RCD** устройства

Пример: »Предохранитель« сеть освещения,

»Предохранитель« станок с числовым программным управлением,

»Предохранитель« однофазные розетки и т.д.

»RCD« Распределительный щит 1

Система молниезащиты делится на отдельные электроды и подсоединения к системе молниезащиты.

Пример: »Электрод« Электрод 1,

»Электрод« Электрод 2,

»Подсоединение« Газовая установка,

»Подсоединение« МРЕ и т.д.

Коллектор главного выравнивания потенциала (МРЕ) делится на подсоединения к МРЕ и заземления, подсоединенные к МРЕ.

Пример: »Подсоединение« Водная установка,

»Подсоединение« Установка центрального отопления,

»Подсоединение« Газовая установка

»Подсоединение« коллектор защитного проводника (РСС) промышленной установки,

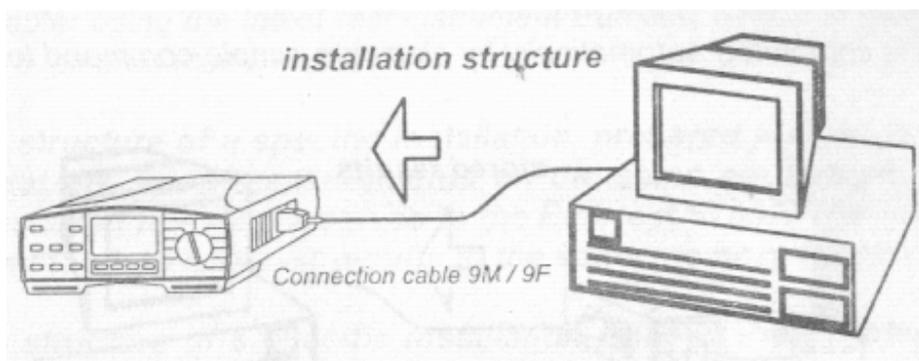
»Подсоединение« коллектор защитного проводника (РСС) Отдела ОКР,

»Заземление« »Заземление **Основы**,

»Заземление« Система защиты и т.д.

После ввода структуры в ПК она должно быть передана в Eurotest 61557.

Измерения в электроустановках в теории и на практике



Installation structure – структура установки

Connection cable 9M / 9F – соединительный кабель 9M / 9F

Рис. 107. Передача структуры из ПК в Eurotest 61557.

Измерение и сохранение результатов испытаний в подготовленной структуре

Измерения должны проводиться в определенной последовательности, начиная от главного распределительного шкафа (вход сетевой системы) в направлении к присоединенным электрическим нагрузкам, а именно:

- Системы заземления (сопротивление заземления индивидуального заземлителя, соединения между заземлителями, подсоединения сторонних проводящих частей к системе заземления).
- Коллекторы главного уравнивания потенциалов (МРЕС) (подсоединения к МРЕС, сопротивление заземления системы заземления, подсоединенной к МРЕС).
- Распределительные шкафы (непрерывность защитных проводников главного уравнивания потенциалов во всех токовых петлях, эффективность защитных проводников дополнительного уравнивания, сопротивление изоляции между проводниками во всех токовых петлях, импеданс петли повреждения и прогнозируемый ток короткого замыкания во всех токовых петлях, проверка RCD устройств защиты во всех токовых петлях, последовательность фаз и т.д.).

Получаемые результаты испытаний, пока выполняются вышеупомянутые в списке измерения, вносятся в подготовленные (резервируемые со структурой) ячейки памяти. Eurotest 61557 помогает оператору при запоминании результатов испытаний, показывая фактические названия мест испытаний (предохранители, блоки и т.д.)

Важное преимущество Eurotest 61557 - это то, что оператор может проверить в любое время, какие измерения не завершены и не сохранены. Найдите, пожалуйста, детальные инструкции о том, как сохранять результаты испытаний, в Инструкции Eurotest 61557.

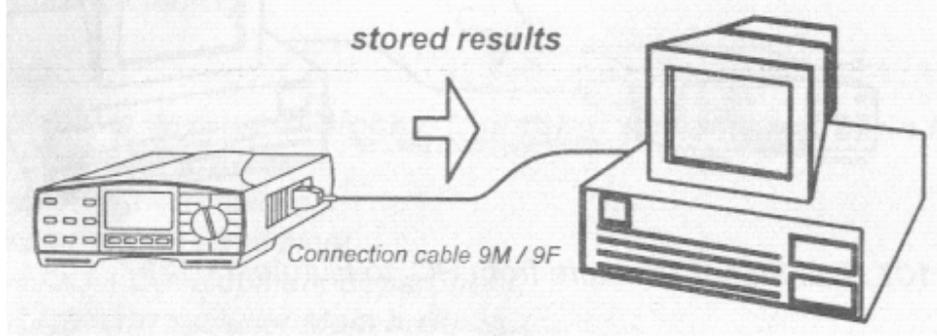
Проверка на функционирование подключенного оборудования (нагрузок)

После завершения измерений, также требуется провести функциональные испытания некоторого оборудования, подсоединенного к испытуемой установке. Некоторые примеры такого оборудования: двигатели (направление вращения), вентиляторы, устройства управления и защиты, системы нагрева, системы освещения и т.д. Результаты проверки (ХОРОШО или не ХОРОШО) должны быть занесены вручную в бланк окончательного протокола, и затем переданы в ПК. Они будут автоматически включены в окончательный протокол при выводе на печать.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Передача запомненных результатов в ПК

Передача проводится автоматически, при подаче простой команды в ПК.



Stored results – запомненные результаты

Connection cable 9M / 9F – соединительный кабель 9M / 9F

Рис. 108. Передача запомненных результатов из испытательного прибора в ПК.

Внесение основных данных о заказчике и проверяемой установке в ПК

Заключительный протокол, формируемый программным обеспечением ПК, требует внесения различных данных, полученных при выполнении визуального осмотра испытуемого оборудования. Данные описываются в параграфе "Визуальный осмотр испытуемого оборудования" и будут автоматически включены в заключительный протокол при печати.

Распечатка заключительного протокола, включая результаты испытаний

После передачи всех данных (визуальный осмотр проверяемого объекта, результаты испытаний и проверка функционирования) в ПК, заключительный протокол может быть создан на ПК и напечатан на принтере. Имеется несколько форм заключительного протокола, см. Инструкцию Eurotest 61557.

Имеется только одно действие, которое должно быть выполнено оператором, а именно, результаты испытаний и структура установки в месте испытаний должна быть сохранена в архивах оператора. Данные будут использоваться снова при выполнении следующего периодического осмотра того же самого участка.

Таким образом, вся процедура целиком закончена!

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Давайте подытожим снова все преимущества, предлагаемые технологией, описанной в этой главе, при использовании самого последнего испытательного прибора Eurotest 61557 в комбинации с программным обеспечением ПК, все произведенным METREL.

- ❖ структура некоторой установки, подготовленная только один раз, может быть использована для повторения тех же самых измерений на том же самом оборудовании. Ее только надо перенести из архива в Eurotest 61557. Тогда прибор будет готов к запоминанию новых результатов испытаний в тех же самых ячейках памяти.*
- ❖ структура некоторой установки, переданная в Eurotest 61557, может быть свободно видоизменена всякий раз, когда потребуется. Эта особенность предлагает полную гибкость в этой сфере.
Адаптация может быть проведена независимо от того, как структура была введена в испытательный прибор (посредством программного обеспечения ПК или вручную).*
- ❖ при запоминании результатов испытаний показываются фактические маркировки распределительных шкафов, токовых петель, систем заземления и т.д. Нет необходимости вести дополнительный справочник.*
- ❖ оператор может проверить в любое время, какие и где измерения еще не проведены.*
- ❖ создание заключительного протокола происходит автоматически и быстро, благодаря программному обеспечению ПК. Напечатанный документ готов для передачи клиенту.*
- ❖ Все данные (структура и результаты испытаний) могут быть сохранены в архиве оператора на ПК или на диск. Всякий раз, когда то же самое оборудование подлежит проверке, оператору надо только передать находящуюся в архиве структуру назад в испытательный прибор.*

Если оператор по какой-то причине не создал структуру посредством ПК (нет схемы электрической установки и т.д.), та же самая технология может быть использована. В этом случае испытательный прибор предложит общие маркировки узлов установки при запоминании результатов испытаний, см. стр. 105. После передачи результатов в ПК общие названия могут быть заменены на реальные, которые будут использованы в заключительном протоколе.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

7. ПРЕЗЕНТАЦИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ, ПРОИЗВОДИМЫХ METREL d.d.

Имеются различные приборы, пригодные для полного испытания электрических установок. Главное различие между приборами - в перечне основных и вспомогательные параметров (те, которые не требуются в стандарте 61557), которые определенный прибор может поддерживать. Ниже приведены основные характеристики каждого прибора.

1 Высоко профессиональный мультитестер для максимального испытания электрических установок *Eurotest 61557*.

Он предназначен для профессиональных инженеров, которые имеют дело с монтажом, обслуживанием, уходом, текущим ремонтом и принятием в эксплуатацию электрических установок на самом высоком уровне (они обладают широким знанием относительно установок). Преимущество этого прибора в том, что в дополнение ко всем основным параметрам, требуемым стандартом 61557, он может также измерять широкий диапазон вспомогательных параметров, таких как гармоники вплоть до 21-ой, мощность, энергию, силу тока, трассировку установки, неразрывность при использовании низкого испытательного тока, проверка варисторных устройств защиты и т.д.

2 Высоко профессиональный мультитестер для полного испытания электрических установок *Instatetest 61557*.

Он предназначен для всех электриков, которые имеют дело с монтажом, обслуживанием, уходом, текущим ремонтом и принятием в эксплуатацию электрических установок. Он предлагает измерения всех параметров, требуемых стандартом 61557, а также некоторые вспомогательные параметры, такие как трассировка установки, неразрывность при использовании низкого испытательного тока, проверка варисторных устройств защиты и т.д.

3 Высоко профессиональный мультитестер для полного испытания сопротивлений заземления и сопротивлений изоляции *Earth Insulation Tester*

Он предназначен для инженеров и электриков, имеют дело с монтажом, обслуживанием, уходом, текущим ремонтом и принятием в эксплуатацию систем заземления и изоляции электрических установок. Он измеряет широкий диапазон вспомогательных параметров, таких как сила тока, неразрывность устройств защиты, неразрывность при использовании низкого испытательного тока, проверка варисторных устройств защиты и т.д.

4 Высоко профессиональный, портативный трехфазный *Harmonic – Power Analyzer*

Он предназначен для высокотребовательных измерителей, кто имеют дело с проверкой качества электрической энергии. Преимущество прибора в том, что он может контролировать все три фазные токи и напряжения в трехфазной системе одновременно. Все размеры проходят в режиме реального времени (контролируется любой период), результаты записываются и могут быть использованы для дальнейшего анализа. Прибор работает автономно (независимо от подключения к сетевому напряжению) благодаря внутреннему электропитанию от батарей.

Измерения в электроустановках в теории и на практике

7.1. Технические характеристики Eurotest 61557

Функции

Сопротивление изоляции

Диапазон измерений Riso (Un ≥ 250 В)... (0,008 – 1000) МОм

Диапазон показаний Riso (МОм) Un ≥ 250 В	Разрешение, МОм	Точность*
0,000 – 1,999	0,001	±(2 % отсч. + 2 ед.)
2,00 – 19,99	0,01	
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1000	1	±(10 % отсч.)

Диапазон измерений Riso (Un < 250 В)... (0,012 – 199,9) МОм

Диапазон показаний Riso (МОм) Un < 250 В	Разрешение, МОм	Точность*
0,000 – 1,999	0,001	±(5 % отсч. + 3 ед.)
2,00 – 19,99	0,01	
20,0 – 199,9	0,1	

* - указанная точность справедлива при использовании Универсального испытательного кабеля, или до 20 МОм при использовании Игольчатого щупа

Диапазон показаний испытательного напряжения, В	Разрешение, В	Точность*
0 – 1200	1	±(2 % отсч. + 3 ед.)

Номинальное испытательное напряжение... 50, 100, 250, 500, 1000 В постоянного тока
Возможности по току испытательного генератора (при Utest > Un)..... > 1 мА
Испытательный ток короткого замыкания... < 3 мА
Автоматическая разрядка проверяемого объекта... Да

Непрерывность защитных проводников

Диапазон измерений R..... (0,08– 1999) МОм

Диапазон показаний R (Ом)	Разрешение, Ом	Точность
0,00 – 19,99	0,01	±(2 % отсч. + 2 ед.)
20,0 – 199,9	0,1	±(3 % отсч.)
200 – 1999	1	

Испытательное напряжение холостого хода.... 4 - 7 В постоянного тока
Испытательный ток короткого замыкания... < 200 мА
Компенсация сопротивления испытательных проводов (до 5 Ом)..... Да
Звуковой сигнал..... Да
Автоматическое изменение полярности..... Да
Режим измерения одиночное измерение

Непрерывность

Диапазон показаний R, Ом	Разрешение, Ом	Точность
0,0 – 199,9	0,1	±(3 % отсч. + 3 ед.)
200 – 2000	1	

Испытательное напряжение холостого хода.... 4 - 7 В постоянного тока
Испытательный ток короткого замыкания..... < 7 мА
Звуковой сигнал..... Да
Режим измерения непрерывное измерение

Сопротивление заземления, четырехпроводный метод

Диапазон измерений R_E 0,11 Ом – 19,99 кОм

Диапазон показаний, Ом	Разрешение, Ом	Точность
0,00 – 19,99	0,01	±(2 % отсч. + 3 ед.)
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 19,99 к	10	±(5 % отсч.)

Дополнительная погрешность сопротивления штыря при Rстах или Rp тах..... ±(3 % отсч. + 5 ед.)
Rстах....(4 кОм + 100 R_E) или 50 кОм (меньшие значения)
Rp = Rc1 + Rc2 (удельное сопротивление Земли)
Rp тах(4 кОм + 100 R_E) или 50 кОм (меньшие значения)
Rp = Rp1 + Rp2 (удельное сопротивление Земли)
Дополнительная погрешность при 20 В шумового напряжения (50 Гц)..... ±(5 % отсч. + 10 ед.)
Испытательное напряжение холостого хода 40 В переменного тока
Форма испытательного напряжения синусоидальная
Частота испытательного напряжения 125 Гц
Испытательный ток короткого замыкания < 20 мА
Автоматическое испытание сопротивления токовых и потенциальных испытательных электродов..... Да
Автоматическое испытание шумового напряжения ... Да

Сопротивление заземления с использованием одних клещей в комбинации с четырехпроводным методом

Справедливы все технические данные, перечисленные для четырехпроводного метода, ниже даны дополнительные данные приведены ниже:
Дополнительная погрешность при шумовом токе 3А, генерируемом сетевым напряжением (50 Гц) ±(5 % отсч. + 10 ед.)
Дополнительная погрешность отношения сопротивлений..... Rpartial/Rtotal 1 %
Rpartial – сопротивление, измеренное клещами
Rtotal – сопротивление системы заземления в целом

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Индикация в случае малого тока в клещах.....< 0,5 мА
 Автоматический тест шумового тока.....Да
 Дополнительная погрешность клещей должна приниматься во внимание

Сопротивление заземления при использовании двоих клещей

Диапазон измерений R_E(0,08– 100 Ом)

Диапазон показаний R_E , Ом	Разрешение, Ом	Точность*
0,00 – 19,99	0,01	$\pm(10\% \text{ отсч.} + 2 \text{ ед.})$
20,0 – 100,0	0,1	$\pm(20\% \text{ отсч.})$

* ...расстояние между испытательными клещами > 25 см
 Дополнительная погрешность при шумовом токе 3А, генерируемом сетевым напряжением (50 Гц)

..... $\pm(10\% \text{ отсч.} + 10 \text{ ед.})$
 Автоматический тест шумового тока.....Да
 Дополнительная погрешность клещей должна приниматься во внимание

Удельное сопротивление грунта

Справедливы все технические данные, перечисленные для четырехпроводного метода, ниже даны дополнительные данные приведены ниже:

Диапазон показаний ρ , Ом м	Разрешение, Ом м	Точность
0,00 – 19,99	0,01	Учитывается точность измерения R_E
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 19,99 к	10	$\rho = 2 \pi a R_E$
20,0 к – 199,9 к	0,1 к	
200 к – 2000 к	1 к	

Расстояние между испытательными штырями от 1 до 30 м

RCD устройства - Общие данные

Номинальные дифференциальные токи

..... 10, 30, 100, 300, 500 мА

Точность фактических дифференциальных токов

.....-0 /+0,1 $I_{\Delta N}$; $I_{\Delta} = I_{\Delta N}, 2 I_{\Delta N}, 5 I_{\Delta N}$
 - 0,1 $I_{\Delta N}$ /+0; $I_{\Delta} = 0,5 I_{\Delta N}$

Форма испытательного тока..... синусоидальная

Испытательный ток начинается при 0° или 180°

Тип RCD..... стандартный или выборочный

Номинальное входное напряжение 230/115 В /45 - 65 Гц

RCD устройства - напряжение прикосновения U_c

Диапазон измерений U_c(10 - 100) В

Диапазон показаний U_c , В	Разрешение, В	Точность*
0,00 – 9,99	0,01	$(-0 / +10)\% \text{ отсч.} \pm 0,2 \text{ В}$
10,0 – 100,0	0,1	$(-0 / +10)\% \text{ отсч.}$

* указанная точность достигается при условии:
 сетевое напряжение стабильно во время измерения

клемма РЕ свободна от напряжения помех

Принцип измерения.....с или без вспомог.электрода

Испытательный ток.....< 0,5 $I_{\Delta N}$

Предельное напряжение прикосновения.....25 или 50 В

Напряжение прикосновения, приведенное к $I_{\Delta N}$

(стандартный тип) или к 2 $I_{\Delta N}$ (выборочный тип)

RCD устройства - сопротивление заземления (петля повреждения) R_E/R_L

Диапазон показаний R_E , Ом	Разрешение, Ом	Точность
0,00 – 19,99	0,01	Учитывается точность измерения U_c
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 10,00 к	0,01 к	

Вычисление $R_E (R_L) = U_c / I_{\Delta N}$

Принцип измерения..... со вспомогательным электродом (R_E)

без вспомогательного электрода (R_L)

Испытательный ток.....< 0,5 $I_{\Delta N}$

RCD устройства – время срабатывания

Испытательный ток.....0,5 $I_{\Delta N}, I_{\Delta N}, 2 I_{\Delta N}, 5 I_{\Delta N}$

(множитель 5 не доступен при $I_{\Delta N} = 1000 \text{ мА}$)

Диапазон измерений t (тип G).....(0 мс – макс.значение показаний)

Диапазон показаний t , мс (тип G)	Разрешение, мс	Точность
0 – 300 (0,5 $I_{\Delta N}, I_{\Delta N}$)	1	$\pm 3 \text{ мс}$
0 – 150 (2 $I_{\Delta N}$)	1	
0 – 40 (5 $I_{\Delta N}$)	1	

Диапазон измерений t (тип S).....(0 мс – макс.значение показаний)

Диапазон показаний t , мс (тип S)	Разрешение, мс	Точность
0 – 500 (0,5 $I_{\Delta N}, I_{\Delta N}$)	1	$\pm 3 \text{ мс}$
0 – 200 (2 $I_{\Delta N}$)	1	
0 – 150 (5 $I_{\Delta N}$)	1	

RCD устройства – ток срабатывания

Диапазон измерений $I_{\Delta N}$(0,2 – 1,1) $I_{\Delta N}$

Диапазон показаний $I_{\Delta N}$	Разрешение	Точность
0,2 $I_{\Delta N}$ – 1,1 $I_{\Delta N}$	0,05 $I_{\Delta N}$	$\pm 0,1 I_{\Delta N}$

Диапазон измерений t_{Δ}(0 – 300) мс

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Диапазон показаний t_{Δ} , мс	Разрешение, мс	Точность
0 - 300	1	± 3 мс

Диапазон измерений U_{c1} (10 – 100) В

Диапазон показаний U_{c1} , В	Разрешение, В	Точность*
0,00 – 9,99	0,01	(0 - 10) % отсч. \pm 0,2 В
10,0 – 100,0	0,1	(0 - 10) % отсч.

* указанная точность достигается при условии:
сетевое напряжение стабильно во время измерения
клемма PE свободна от напряжения помех
Напряжение U_{c1} приводится к току срабатывания $I_{\Delta N}$

Импеданс петли повреждения и прогнозируемый ток короткого замыкания

Диапазон измерений Z_{L-PE} , R, Xl.....(0,11 – 1999) Ом

Диапазон показаний Z_{L-PE} , R, Xl, Ом	Разрешение, Ом	Точность*
0,00 – 19,99	0,01	$\pm(2\% \text{ отсч.} + 3 \text{ ед.})$
20,0 – 199,9	0,1	
200 - 2000	1	

Диапазон показаний I_{psc} , А	Разрешение, А	Точность
0,06 – 19,99	0,01	Учитывается точность Z_{L-PE}
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 19,99 к	10	
20,0 к – 24,4 к	100	

Вычисление I_{psc} $I_{psc} = U_N 1,06 / Z_{L-PE}$
 $U_N = 115 \text{ В} (100 \text{ В} \leq U_{L-PE} < 160 \text{ В})$
 $U_N = 230 \text{ В} (160 \text{ В} \leq U_{L-PE} \leq 264 \text{ В})$
 Максимальный испытательный ток (при 230 В)23 А (10 мс)
 Номинальное входное напряжение.....230/115 В /45 – 65 Гц

Напряжение прикосновения при токе короткого замыкания

Диапазон показаний U_c , В	Разрешение, В	Точность*
0,00 – 9,99	0,01	$\pm(3\% \text{ отсч.} + 0,02 \text{ Ом } I_{psc})$
10,0 – 99,9	0,1	
100 - 264	1	

Максимальный испытательный ток (при 230 В).....23 А
 Номинальное входное напряжение.....230/115 В /45 – 65 Гц

Импеданс линии и прогнозируемый ток короткого замыкания

Диапазон измерений Z_{L-N} , R, Xl.....(0,11 – 1999) Ом

Диапазон показаний Z_{L-N} , R, Xl, Ом	Разрешение, Ом	Точность*
0,00 – 19,99	0,01	$\pm(2\% \text{ отсч.} + 3 \text{ ед.})$
20,0 – 199,9	0,1	
200 - 2000	1	

Диапазон показаний I_{psc} , А	Разрешение, А	Точность
0,06 – 19,99	0,01	Учитывается точность Z_{L-N}
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 19,99 к	10	
20,0 к – 42,4 к	100	

Вычисление I_{psc} $I_{psc} = U_N 1,06 / Z_{L-N}$
 $U_N = 115 \text{ В} (100 \text{ В} \leq U_{L-N} < 160 \text{ В})$
 $U_N = 230 \text{ В} (160 \text{ В} \leq U_{L-N} \leq 264 \text{ В})$
 $U_N = 400 \text{ В} (264 \text{ В} < U_{L-N} \leq 440 \text{ В})$
 Максимальный испытательный ток (при 400 В)40 А (10 мс)
 Номинальное входное напряжение400/230/115 В /45 – 65 Гц

Сопrotивление N-PE петли и прогнозируемый ток короткого замыкания

Диапазон измерений R_{N-PE}(0,11 – 1999) Ом

Диапазон показаний R_{N-PE} , Ом	Разрешение, Ом	Точность*
0,00 – 19,99	0,01	$\pm(2\% \text{ отсч.} + 3 \text{ ед.})$
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 2000	1	

Диапазон показаний I_{psc} , А	Разрешение, А	Точность
0,06 – 19,99	0,01	Учитывается точность R_{L-PE}
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 19,99 к	10	
20,0 к – 24,4 к	100	

Вычисление I_{psc} $I_{psc} = U_N 1,06 / Z_{L-PE}$
 $U_N = 115 \text{ В} (100 \text{ В} \leq U_{L-N} < 160 \text{ В})$
 $U_N = 230 \text{ В} (160 \text{ В} \leq U_{L-N} \leq 264 \text{ В})$

Технические данные генератора см. в «Сопrotивление заземления, четырехпроводный метод»

Последовательность фаз

Номинальный диапазон сетевого напряжения..100 – 440 В
 Отображаемый результат1.2.3 или 2.1.3

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Напряжение (помимо гармонической функции)

Диапазон показаний U, В	Разрешение, В	Точность*
0 – 440	0,01	$\pm(2\% \text{ отсч.} + 2 \text{ ед.})$

Номинальный диапазон частот.....45 – 65 Гц

Ток (истинное среднее квадратическое значение)

Диапазон показаний I, А	Разрешение, А	Точность
0,0 м – 99,9 м	0,1 м	$\pm(5\% \text{ отсч.} + 3 \text{ ед.})$
100 м – 999 м	1 м	$\pm(5\% \text{ отсч.})$
1,00 – 9,99	0,01	
10,0 – 99,9	0,1	
100 – 200	1	

Входное сопротивление.....10 Ом / 1 Вт макс.
 Принцип измерения.....токовые клещи 1 А / 1 мА
 Номинальная частота.....50/60 Гц
 Должна учитываться дополнительная погрешность от клещей

Пиковое значение тока

Диапазон показаний I, А	Разрешение, А	Точность
5 – 280	1	$\pm(5\% \text{ отсч.})$

Скорость выборки.....2 измерения / мс
 Принцип измерения.....токовые клещи
 Номинальная частота.....50/60 Гц
 Должна учитываться дополнительная погрешность от клещей

Варисторные устройства защиты от перенапряжения (напряжение пробоя)

Диапазон показаний U, В	Разрешение, В	Точность*
0 – 1000	1	$\pm(5\% \text{ отсч.} + 10 \text{ В})$

Принцип измерения..... нарастающее постоянное напряжение
 Скорость нарастания испытательного напряжения.....500 В / с
 Пороговый ток.....1 мА

Определитель повреждения / предохранителя / проводника

Принцип.....нагрузка линии или наложение испытательного сигнала
 Нагрузка (диапазон сетевого напряжения 30 – 264 В / 45 – 65 Гц):

$$I_s < 1 \text{ А пульсирующий}$$

$$f_s = 3600 \text{ Гц}$$

Наложение (установка, свободная от напряжения):

$$U_s < 7 \text{ В пульсирующий}$$

$$f_s = 3600 \text{ Гц}$$

$$I_{sc} < 50 \text{ мА пульсирующий}$$

Мощность

Диапазон показаний (Вт/ВАр/ВА)	Разрешение (Вт/ВАр/ВА)	Точность*
0,00 – 9,99	0,01	$\pm(7\% \text{ отсч.} + 1 \text{ ед.})$
10,0 – 99,9	0,1	
100 – 999	1	
1,00 к – 9,99 к	0,01 к	
10,0 к – 88,0 к	0,1 к	

* (U: 10 – 440 В, I: 10 мА – 200 А)

Принцип.....однофазные токовые клещи

Род мощности..... Вт/ВАр/ВА

Номинальное входное напряжение

.....400/230/115 В /45 – 65 Гц

Диапазон показаний (cos φ).....0,00 – 1,00

Должна учитываться дополнительная погрешность от клещей

Энергия

Диапазон показаний W, Вт час	Разрешение, Вт час	Точность
0,000 – 1,999	0,001	$\pm(7\% \text{ отсч.} + 1 \text{ ед.})$
2,00 – 19,99	0,01	
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 19,99 к	0,01 к	
20,0 к – 199,9 к	0,1 к	
200 к – 1999 к	1 к	

Вычисление..... $W = \sum P \Delta t$

Интервал времени..... задается от 1 мс до 25 час

Номинальное входное напряжение

.....400/230/115 В /45 – 65 Гц

Анализ искажений (напряжения и тока)

Измерение напряжения (истинное среднее квадратическое значение)

Диапазон показаний U, В	Разрешение, В	Точность*
10 – 440	1	$\pm(5\% \text{ отсч.} + 3 \text{ ед.})$

Измерение тока (истинное среднее квадратическое значение)

Диапазон показаний I, А	Разрешение, А	Точность
10,0 м – 99,9 м	0,1 м	$\pm(5\% \text{ отсч.} + 3 \text{ ед.})$
100 м – 999 м	1 м	$\pm(5\% \text{ отсч.})$
1,00 – 9,99	0,01	
10,0 – 99,9	0,1	
100 – 200	1	

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Диапазон показаний К _ε , %	Разрешение, %	Точность
0,0 – 100,0	0,1	±(5 % отсч. + 5 ед.)

Диапазон показаний гармоник вплоть до 21-й, %	Разрешение, %	Точность
0,0 – 100,0	0,1	±(5 % отсч. + 5 ед.)

Отображение результата

..... в % от суммарного эффективного значения
 Номинальная частота.....50/60 Гц
 Погрешность от клещей должна учитываться дополнительно

Общие характеристики Eurotest 61557

Электропитание 6 В постоянного тока (4 x элемент IEC LR14 1,5 В)

Автоматическое сравнение результата испытания с верхним и нижним граничными значениями..... Да

Визуальные и звуковые сигналы предупреждения..... Да

Размеры (ширина x высота x глубина) 26,5 x 11 x 18,5 см

Вес (без принадлежностей, с батареями).....2,1 кг

Дисплей.....матричный ЖКИ с подсветкой, 128 x 64 элементов

Память.....2000 измерений

Связь с компьютером.....RS 232

Класс защиты.....двойная изоляции

Кат. перенапряжения.....CATIII/300 В или CATII/600 В

Степень устойчивости к загрязнениям.....2

Степень защиты.....IP 44

Диапазон рабочих температур.....0 - 40 °С

Номинальный (нормальный) диапазон температур.....10 - 30 °С

Максимальная относительная влажность.....85 % (0 - 40 °С)

Нормальная (номинальная) относительная влажность.....40 - 60 %

Автоматическое выключение..... Да

Измерения в электроустановках в теории и на практике

7.2. Технические спецификации Instaltest 61557

Сопротивление изоляции

Диапазон измерений Riso ($U_n \geq 250$ В)... (0,008 – 1000) МОм

Диапазон показаний Riso (МОм) $U_n \geq 250$ В	Разрешение, МОм	Точность*
0,000 – 1,999	0,001	±(2 % отсч. + 2 ед.)
2,00 – 19,99	0,01	
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1000	1	±(10 % отсч.)

Диапазон измерений Riso ($U_n < 250$ В)... (0,012 – 199,9) МОм

Диапазон показаний Riso (МОм) $U_n < 250$ В	Разрешение, МОм	Точность*
0,000 – 1,999	0,001	±(5 % отсч. + 3 ед.)
2,00 – 19,99	0,01	
20,0 – 199,9	0,1	

* - указанная точность справедлива при использовании Универсального испытательного кабеля, или до 20 МОм при использовании Игольчатого щупа

Диапазон показаний испытательного напряжения, В	Разрешение, В	Точность*
0 – 1200	1	±(2 % отсч. + 3 ед.)

Номинальное испытательное напряжение.....50 – 1000 В постоянного тока с шагом 10 В

Возможности по току испытательного генератора (при $U_{test} > U_n$).....> 1мА

Испытательный ток короткого замыкания.....< 3 мА

Автоматическая разрядка проверяемого объекта.....Да

Непрерывность защитных проводников

Диапазон измерений R.....(0,08– 1999) МОм

Диапазон показаний R (Ом)	Разрешение, Ом	Точность
0,00 – 19,99	0,01	±(2 % отсч. + 2 ед.)
20,0 – 199,9	0,1	±(3 % отсч.)
200 – 1999	1	

Испытательное напряжение холостого хода.... 4 - 7 В постоянного тока

Испытательный ток короткого замыкания... < 200 мА

Компенсация сопротивления испытательных проводов (до 5 Ом).....Да

Звуковой сигнал.....Да

Автоматическое изменение полярности.....Да

Режим измеренияодиночное измерение

Непрерывность

Диапазон показаний R, Ом	Разрешение, Ом	Точность
0,0 – 199,9	0,1	±(3 % отсч. + 3 ед.)
200 – 2000	1	

Испытательное напряжение холостого хода.... 4 - 7 В постоянного тока

Испытательный ток короткого замыкания.....< 7 мА

Звуковой сигнал.....Да

Режим измерениянепрерывное измерение

RCD устройства - Общие данные

Номинальные дифференциальные токи

..... 10, 30, 100, 300, 500, 1000 мА

Точность фактических дифференциальных

токов:.....-0/+0,1 I_{Δ} ; $I_{\Delta} = I_{\Delta N}$, 2 $I_{\Delta N}$, 5 $I_{\Delta N}$
- 0,1 $I_{\Delta N}$ /+0; $I_{\Delta} = 0,5 I_{\Delta N}$

Точность фактических дифференциальных

токов:.....(-0/+0,1) $I_{\Delta N}$

Форма испытательного тока.....синусоидальная

Испытательный ток начинается при0 ° или 180 °

Тип RCD.....стандартный или выборочный

RCD устройства - напряжение прикосновения Uc

Диапазон измерений Uc(10 - 100) В

Диапазон показаний Uc, В	Разрешение, В	Точность*
0,00 – 9,99	0,01	(-0 / +10) % отсч. ± 0,2 В)
10,0 – 100,0	0,1	(-0 / +10) % отсч.

* указанная точность достигается при условии:

сетевое напряжение стабильно во время

измерения

клемма РЕ свободна от напряжения помех

Принцип измерения.....без вспомог.электрода

Испытательный ток.....< 0,5 $I_{\Delta N}$

Предельное напряжение прикосновения.....25 или 50 В

Напряжение прикосновения, приведенное к $I_{\Delta N}$

(стандартный тип) или к 2 $I_{\Delta N}$ (выборочный тип)

RCD устройства - сопротивление петли

повреждения R_L

Диапазон показаний R_L , Ом	Разрешение, Ом	Точность
0,00 – 19,99	0,01	Учитывается точность измерения Uc и $I_{\Delta N}$
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	$R_L = U_c / I_{\Delta N}$
2,00 к – 10,00 к	0,01 к	

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Вычисление $R_L = U_c / I_{\Delta N}$
 Принцип измерения..... без вспомогательного электрода
 Испытательный ток..... $< 0,5 I_{\Delta N}$

RCD устройства – время срабатывания

Испытательный ток..... $0,5 I_{\Delta N}, I_{\Delta N}, 2 I_{\Delta N}, 5 I_{\Delta N}$
 (множитель 5 не доступен при $I_{\Delta N} = 1000 \text{ mA}$)

Диапазон измерений t (тип G)..... (0 мс – макс. значение показаний)

Диапазон показаний t , мс (тип G)	Разрешение, мс	Точность
0 – 300 ($0,5 I_{\Delta N}, I_{\Delta N}$)	1	$\pm 3 \text{ мс}$
0 – 150 ($2 I_{\Delta N}$)	1	
0 – 40 ($5 I_{\Delta N}$)	1	

Диапазон измерений t (тип S)..... (0 мс – макс. значение показаний)

Диапазон показаний t , мс (тип S)	Разрешение, мс	Точность
0 – 500 ($0,5 I_{\Delta N}, I_{\Delta N}$)	1	$\pm 3 \text{ мс}$
0 – 200 ($2 I_{\Delta N}$)	1	
0 – 150 ($5 I_{\Delta N}$)	1	

RCD устройства – ток срабатывания

Диапазон измерений $I_{\Delta N}$ ($0,2 - 1,1$) $I_{\Delta N}$

Диапазон показаний $I_{\Delta N}$	Разрешение	Точность
$0,2 I_{\Delta N} - 1,1 I_{\Delta N}$	$0,05 I_{\Delta N}$	$\pm 0,1 I_{\Delta N}$

Диапазон измерений t_{Δ} (10 – 300) мс

Диапазон показаний t_{Δ} , мс	Разрешение, мс	Точность
0 – 300	1	$\pm 3 \text{ мс}$

Диапазон измерений U_{c1} (10 – 100) В

Диапазон показаний U_{c1} , В	Разрешение, В	Точность*
0,00 – 9,99	0,01	(0 - 10) % отсч. \pm 0,2 В
10,0 – 100,0	0,1	(0 - 10) % отсч.

* указанная точность достигается при условии:
 сетевое напряжение стабильно во время измерения
 клемма PE свободна от напряжения помех
 Напряжение U_{c1} приводится к току срабатывания $I_{\Delta N}$

Импеданс петли повреждения и прогнозируемый ток короткого замыкания

Диапазон измерений R_{L-PE} (0,20 – 1999) Ом

Диапазон показаний R_{L-PE} , Ом	Разрешение, Ом	Точность*
0,00 – 19,99	0,01	$\pm(5 \text{ \% отсч.} + 5 \text{ ед.})$
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	

Диапазон показаний I_{psc} , А	Разрешение, А	Точность
0,06 – 19,99	0,01	Учитывается точность R_{L-PE}
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 19,99 к	10	
20,0 к – 24,4 к	100	

Вычисление I_{psc} $I_{psc} = U_N 1,06 / R_{L-PE}$
 $U_N = 115 \text{ В} (100 \text{ В} \leq U_{L-PE} < 160 \text{ В})$
 $U_N = 230 \text{ В} (160 \text{ В} \leq U_{L-PE} \leq 264 \text{ В})$

Максимальный испытательный ток (при 230 В)..... 2,5 А
 Номинальное входное напряжение... 100 - 264 В / 45 – 65 Гц

Сопротивление линии и прогнозируемый ток короткого замыкания

Диапазон измерений R_{L-N} (0,20 – 1999) Ом

Диапазон показаний R_{L-N} , Ом	Разрешение, Ом	Точность*
0,00 – 19,99	0,01	$\pm(5 \text{ \% отсч.} + 5 \text{ ед.})$
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	

Диапазон показаний I_{psc} , А	Разрешение, А	Точность
0,06 – 19,99	0,01	Учитывается точность R_{L-N}
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 19,99 к	10	
20,0 к – 24,4 к	100	

Вычисление I_{psc} $I_{psc} = U_N 1,06 / R_{L-N}$
 $U_N = 115 \text{ В} (100 \text{ В} \leq U_{L-N} < 160 \text{ В})$
 $U_N = 230 \text{ В} (160 \text{ В} \leq U_{L-N} \leq 264 \text{ В})$

Максимальный испытательный ток (при 230 В)..... 2,5 А
 Номинальное входное напряжение... 100 - 264 В / 45 – 65 Гц

Последовательность фаз

Номинальный диапазон сетевого напряжения.. 100 – 440 В
 Отображаемый результат 1.2.3 или 2.1.3

Напряжение

Диапазон показаний U , В	Разрешение, В	Точность*
0 – 264	1	$\pm(2 \text{ \% отсч.} + 2 \text{ ед.})$

Номинальный диапазон частот..... 45 – 65 Гц

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Частота

Диапазон показаний f , Гц	Разрешение, Гц	Точность*
45,0 – 65,0	1	$\pm(0,1\% \text{ отсч.} + 1 \text{ ед.})$

Номинальный диапазон напряжений 10 – 440 В

Диапазон Показа > {Hz} Решение (Hz) Точность

45,0-65,0 0,1 $\pm 0,1\% r. + JDJ$

Номинал voltage располагается 10-440V

Варисторные устройства защиты от перенапряжения (напряжение пробоя)

Диапазон показаний U , В	Разрешение, В	Точность*
0 – 1000	1	$\pm(5\% \text{ отсч.} + 10 \text{ В})$

Принцип измерения

..... нарастающее постоянное напряжение

Скорость нарастания испытательного напряжения

..... 500 В / с

Пороговый ток 1 мА

Общие характеристики Instaltest 61557

Электропитание 6 В постоянного тока (4 x элемент IEC LR14 1,5 В)

Автоматическое сравнение результата испытания с

верхним и нижним граничными значениями Да

Визуальные и звуковые сигналы предупреждения Да

Размеры (ширина x высота x глубина) 26,5 x 11 x 18,5 см

Вес (без принадлежностей, с батареями) 1,8 кг

Дисплей матричный ЖКИ с подсветкой

Память 1000 измерений

Связь с компьютером RS 232

Определитель повреждения / предохранителя / проводника

Принцип нагрузка линии или наложение испытательного сигнала

Нагрузка (диапазон сетевого напряжения 30 – 264 В / 45 – 65 Гц):

$I_s < 1$ А пульсирующий

$f_s = 3600$ Гц

Наложение (установка, свободная от напряжения):

$U_s < 7$ В пульсирующий

$f_s = 3600$ Гц

$I_{sc} < 50$ мА пульсирующий

Регистрация напряжения

Заключительный результат U_{avg} , U_{max} / N_{max} , U_{min} / N_{min}

Диапазон входных напряжений 0 – 440 В

Осуществление выборки за 1с – 99 с с шагом 1 с

Суммарное число выборок 1 - 1999

Класс защиты двойная изоляции

Кат. перенапряжения CAT III / 300 В или CAT II / 600 В

Степень устойчивости к загрязнению 2

Степень защиты IP 44

Диапазон рабочих температур 0 – 40 °С

Номинальный (нормальный) диапазон температур 10 – 30 °С

Максимальная относительная влажность

..... 85 % (0 – 40 °С)

Нормальная (номинальная) относительная влажность

..... 40 – 60 %

Автоматическое выключение Да

Измерения в электроустановках в теории и на практике

7.3. Технические характеристики Earth Insulation Tester (Тестер сопротивления заземления)

Функции

Сопротивление изоляции

Диапазон измерений Riso ($U_n \geq 250$ В)... (0,008 – 29,9 к) МОм

Диапазон показаний Riso (Ом) $U_n \geq 250$ В	Разрешение, МОм	Точность*
0,000 М – 1,999 М	0,001	±(2 % отсч. + 2 ед.)
2,00 М – 19,99 М	0,01	
20,0 М – 199,9 М	0,1	
200 М – 1999 М	1	±(10 % отсч.)
2,00 Г – 19,99 Г	10	
20,0 Г – 29,9 Г	100	

Диапазон измерений Riso ($U_n < 250$ В)... (0,012 – 199,9) МОм

Диапазон показаний Riso (Ом) $U_n < 250$ В	Разрешение, МОм	Точность*
0,000 М – 1,999 М	0,001	±(5 % отсч. + 3 ед.)
2,00 М – 19,99 М	0,01	
20,0 М – 199,9 М	0,1	

* - указанная точность справедлива при использовании Универсального испытательного кабеля, или до 20 МОм при использовании Игольчатого щупа

Диапазон показаний испытательного напряжения, В	Разрешение, В	Точность*
0 – 1200	1	±(2 % отсч. + 3 ед.)

Номинальное испытательное напряжение... 50 - 1000 В постоянного тока с шагом 10 В
Возможности по току испытательного генератора (при $U_{test} > U_n$)... > 1мА
Испытательный ток короткого замыкания... < 3 мА
Автоматическая разрядка проверяемого объекта... Да

Непрерывность защитных проводников

Диапазон измерений R... (0,08– 1999) Ом

Диапазон показаний R (Ом)	Разрешение, Ом	Точность
0,00 – 19,99	0,01	±(2 % отсч. + 2 ед.)
20,0 – 199,9	0,1	±(3 % отсч.)
200 – 1999	1	

Испытательное напряжение холостого хода... 4 - 7 В постоянного тока
Испытательный ток короткого замыкания... < 200 мА
Компенсация сопротивления испытательных проводов (до 5 Ом)... Да
Звуковой сигнал... Да
Автоматическое изменение полярности... Да
Режим измерения... одиночное измерение

Непрерывность

Диапазон показаний R, Ом	Разрешение, Ом	Точность
0,0 – 199,9	0,1	±(3 % отсч. + 3 ед.)
200 – 1999	1	

Испытательное напряжение холостого хода... 4 - 7 В постоянного тока
Испытательный ток короткого замыкания... < 7 мА
Звуковой сигнал... Да
Режим измерения... непрерывное измерение

Сопротивление заземления, четырехпроводный метод

Диапазон измерений R_E ... (0,11 – 19,99 к) Ом

Диапазон показаний, Ом	Разрешение, Ом	Точность
0,00 – 19,99	0,01	±(2 % отсч. + 3 ед.)
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 999	1	
1,000 – 1,999	1	±(5 % отсч.)
2,00 к – 19,99 к	10	

Дополнительная погрешность сопротивления штыря при R_c тах или R_p тах... ±(3 % отсч. + 5 ед.)
 $R_{стах}$... (4 кОм + 100 R_E) или 50 кОм (то, которое меньше)
 R_p тах... (4 кОм + 100 R_E) или 50 кОм (то, которое меньше)
Дополнительная погрешность при 20 В шумового напряжения (50 Гц)... ±(5 % отсч. + 10 ед.)
Испытательное напряжение холостого хода... 40 В переменного тока
Форма испытательного напряжения... синусоидальная
Частота испытательного напряжения... 125 / 150 Гц
Испытательный ток короткого замыкания... < 20 мА
Автоматическое испытание сопротивления токовых и потенциальных испытательных электродов... Да
Автоматическое испытание шумового напряжения... Да

Сопротивление заземления с использованием одних клещей в комбинации с четырехпроводным методом

Справедливы все технические данные, перечисленные для четырехпроводного метода, ниже даны дополнительные данные приведены ниже:

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Диапазон измерений R_E (0,11 – 1,99 к) Ом

Диапазон показаний, Ом	Разрешение, Ом	Точность
0,00 – 19,99	0,01	$\pm(2\% \text{ отсч.} + 3 \text{ ед.})$
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 999	1	
1,00 к – 1,99 к	10	

Дополнительные характеристики:

Дополнительная погрешность при шумовом токе 3А, генерируемом сетевым напряжением (50 Гц) $\pm(5\% \text{ отсч.} + 10 \text{ ед.})$
 Дополнительная погрешность отношения сопротивлений $R_{\text{partial}}/R_{\text{total}} 1\%$
 R_{partial} – сопротивление, измеренное клещами
 R_{total} – сопротивление системы заземления в целом

Индикация в случае малого тока в клещах < 0,5 мА
 Автоматический тест шумового тока Да
 Дополнительная погрешность клещей должна приниматься во внимание

Сопротивление заземления при использовании двух клещей

Диапазон измерений R_E (0,08– 100) Ом

Диапазон показаний R_E , Ом	Разрешение, Ом	Точность*
0,00 – 19,99	0,01	$\pm(10\% \text{ отсч.} + 2 \text{ ед.})$
20,0 – 100,0	0,1	$\pm(20\% \text{ отсч.})$

* ...расстояние между испытательными клещами > 30 см

Дополнительная погрешность при шумовом токе 3А, генерируемом сетевым напряжением (50 Гц) $\pm(10\% \text{ отсч.} + 10 \text{ ед.})$
 Автоматический тест шумового тока Да
 Дополнительная погрешность клещей должна приниматься во внимание

Удельное сопротивление грунта

Справедливы все технические данные, перечисленные для четырехпроводного метода, за исключением таблицы диапазона показаний, см. ниже:

Диапазон показаний ρ , Ом м	Разрешение, Ом м	Точность
0,00 – 19,99	0,01	Учитывается точность измерения R_E $\rho = 2 \pi a R_E$
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 19,99 к	10	
20,0 к – 199,9 к	0,1 к	
200 к – 999 к ($a < 8 \text{ м}$) 200 к – 1999 к ($a \geq 8 \text{ м}$)	1 к	

Диапазон показаний ρ , Ом фут	Разрешение, Ом фут	Точность
0,00 – 19,99	0,01	Учитывается точность измерения R_E $\rho = 2 \pi a R_E$
20,0 – 199,9	0,1	
200 – 1999	1	
2,00 к – 19,99 к	10	
20,0 к – 199,9 к	0,1 к	
200 к – 999 к ($a < 8 \text{ фут}$) 200 к – 1999 к ($a \geq 8 \text{ фут}$)	1 к	

Расстояние между испытательными штырями от 1 до 30 м или от 1 до 60 футов

Напряжение переменного / постоянного тока

Диапазон показаний U, В	Разрешение, В	Точность*
0 – 600	1	$\pm(2\% \text{ отсч.} + 2 \text{ ед.})$

Номинальный диапазон частот 45 – 65 Гц, постоянный ток

Ток (истинное среднее квадратическое значение)

Диапазон показаний I, А	Разрешение, А	Точность
0,0 м – 99,9 м	0,1 м	$\pm(5\% \text{ отсч.} + 3 \text{ ед.})$
100 м – 999 м	1 м	
1,00 – 9,99	0,01	
10,0 – 99,9	0,1	
100 – 200	1	$\pm(5\% \text{ отсч.})$

Входное сопротивление 10 Ом / 1 Вт макс.
 Принцип измерения токовые клещи 1 А / 1 мА
 Номинальная частота 50/60 Гц
 Должна учитываться дополнительная погрешность от клещей

Варисторные устройства защиты от перенапряжения - напряжение пробоя

Диапазон показаний U, В	Разрешение, В	Точность*
0 – 1000	1	$\pm(5\% \text{ отсч.} + 10 \text{ В})$

Принцип измерения нарастающее постоянное напряжение
 Скорость нарастания испытательного напряжения 500 В / с
 Пороговый ток 1 мА

Общие характеристики

Электропитание 6 В постоянного тока (4 х элемент IEC LR14 1,5 В)
Автоматическое сравнение результата испытания с верхним и нижним граничными значениями Да
Визуальные и звуковые сигналы предупреждения Да
Размеры (ширина х высота х глубина) 26,5 х 11 х 18,5 см
Вес (без принадлежностей, с батареями) 1,7 кг
Дисплей матричный ЖКИ с подсветкой
Память 1000 измерений
Связь с компьютером RS 232

Класс защиты двойная изоляции
Кат. перенапряжения CATIII/300 В или CATII/600 В
Степень устойчивости к загрязнениям 2
Степень защиты IP 44
Диапазон рабочих температур 0 - 40 °С
Номинальный (нормальный) диапазон температур 10 - 30 °С
Максимальная относительная влажность 85 % (0 - 40 °С)
Нормальная (номинальная) относительная влажность 40 - 60 %
Автоматическое выключение Да

Измерения в электроустановках в теории и на практике

ПАТЕНТЫ

METREL зарегистрировала и использовала следующие патенты при разработке своих самых последних семейств испытательных приборов

- ❖ Патент для измерения сопротивления заземления в присутствии шумовых сигналов.*
- ❖ Патент для измерения напряжения прикосновения.*
- ❖ Патент для генерации испытательного тока при тестировании (обнаружении неисправности) устройств защиты*
- ❖ Патент о том, как предотвратить двойное подсоединение испытательных кабелей и кабеля связи*
- ❖ Патент для измерения импеданса линии и петли и прогнозируемого тока короткого замыкания*

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Сравнительные характеристики приборов, производимых METREL

Параметр	Eurotest 61557	Installtest 61557	Earth – Insul. Tester
Сопротивление изоляции	✓	✓	✓
Диапазон показаний	0,001 – 1000 МОм	0,001 – 1000 МОм	0,001 М – 1000 ГОм
Испытательное напряжение 50 В	✓	✓	✓
Испытательное напряжение 100 В	✓	✓	✓
Испытательное напряжение 250 В	✓	✓	✓
Испытательное напряжение 500 В	✓	✓	✓
Испытательное напряжение 1000 В	✓	✓	✓
Оptionальное испытательное напряжение (50 - 1000 В)	/	✓	✓
Испытание варисторных устройств защиты от перенапряжения	✓	✓	✓
Диапазон испытаний (непрерывно)	0 - 1000 В	0 - 1000 В	0 - 1000 В
Непрерывность защитных проводников	✓	✓	✓
Диапазон показаний	0,01 – 2000 Ом	0,01 – 2000 Ом	0,01 – 2000 Ом
Автоматическое изменение полярности	✓	✓	✓
Компенсация испытательных проводников	✓	✓	✓
Возможность испытания индуктивных нагрузок	✓	✓	✓
Акустический сигнал	✓	✓	✓
Малые сопротивления (непрерывное измерение)	✓	✓	✓
Диапазон показаний	0,01 – 2000 Ом	0,01 – 2000 Ом	0,01 – 2000 Ом
Акустический сигнал	✓	✓	✓
Сопротивление заземления (внутренний источник)	✓	/	✓
Диапазон показаний	0,01 Ом – 20 кОм	/	0,01 Ом – 20 кОм
Принцип измерения	4-пров., 2 эл-да	/	4-пров., 2 эл-да
Форма испытательного напряжения	синусоид.	/	синусоид.
Измерение с использованием одних испытательных клещей	✓	/	✓
Измерение с использованием двух испытательных клещей	✓	/	✓
Автоматический тест R _c и R _p	✓	/	✓
Высокая защищенность от шумового сигнала	✓(патент)	/	✓(патент)
Удельное сопротивление грунта	✓	/	✓
Диапазон показаний	0 - 2,5 МОм м	/	0 - 1999 кОм м
Принцип измерения	4-пров., 4 эл-да	/	4-пров., 4 эл-да
Расстояние между испытательными стержнями	1 - 30 м	/	1 - 30 м
RCD защитные выключатели	✓	✓	/
Номинальные дифференциальные токи 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 0,5; 1 А	✓	✓	/
Тип защитных выключателей	перем.ток	перем.ток	/
Стандартные и избранные выключатели	✓	✓	/
Автоматическая оценка результата испытаний	✓	✓	/
Напряжение прикосновения (патент)	✓	✓	/
Диапазон показаний	0 - 100 В	0 - 100 В	/
Измерительный ток	< 0,5 I _{ΔN}	< 0,5 I _{ΔN}	/
Измерение без вспомогательного испытательного электрода	✓	✓	/
Измерение с вспомогательным испытательным электродом	✓	/	/
Автоматическое распознавание подсоединенного вспомогательного испытательного электрода	✓	/	/
Предельное значение напряжения прикосновения	25 или 50 В	25 или 50 В	/
Время срабатывания	✓	✓	/

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Диапазон показаний	0 - 300 мс	0 - 300 мс	/
Испытательный ток	(1/2, 1, 2, 5) $\times I_{\Delta N}$	(1/2, 1, 2, 5) $\times I_{\Delta N}$	/
Ток срабатывания	✓	✓	/
Диапазон показаний	0,2 $I_{\Delta N}$ - 1,1 $I_{\Delta N}$	0,2 $I_{\Delta N}$ - 1,1 $I_{\Delta N}$	/
Нарастающий ток	с шагом 0,05 $I_{\Delta N}$	с шагом 0,05 $I_{\Delta N}$	/
Сопротивлению заземления (внешний источник)	✓	✓	/
Диапазон показаний	0,01 Ом - 2 кОм	0,01 Ом - 2 кОм	/
Измерительный ток	< 0,5 $I_{\Delta N}$	< 0,5 $I_{\Delta N}$	/
Измерение без вспомогательного испытательного электрода	✓	✓	/
Измерение с вспомогательным испытательным электродом	✓	/	/
Автоматическое распознавание подсоединенного вспомогательного испытательного электрода	✓	/	/
Автоматический тест RCD	✓	✓	/
Импеданс петли повреждения	✓	(Сопротивление)	/
Диапазон показаний	0,01 Ом - 2 кОм	0,01 Ом - 2 кОм	/
Испытательный ток	23 А; 2,3 А	2,5 А	/
Автоматическая оценка результата испытаний	✓	✓	/
Измерение напряжения прикосновения при прогнозируемом токе короткого замыкания с использованием вспомогательного испытательного электрода	✓	/	/
Прогнозируемый ток короткого замыкания петли повреждения	✓	✓	/
Диапазон показаний	0 - 23 кА	0 - 23 кА	/
Импеданс линии	✓	(Сопротивление)	/
Диапазон показаний	0,01 Ом - 2 кОм	0,01 Ом - 2 кОм	/
Z_{L-N} (230 В)	✓	✓	/
Z_{L-N} (400 В)	✓	✓	/
Прогнозируемый ток короткого замыкания линии	✓	✓	/
Диапазон показаний	0 - 40 кА	0 - 40 кА	/
Сопротивление N-PE петли (без срабатывания выключателя RCD защиты)	✓	/	/
Диапазон показаний	0,01 - 2000 Ом	/	/
Последовательность фаз	✓	✓	/
Ток (с клещами)	✓	/	✓
Диапазон показаний (два диапазона)	1 мА - 200 А	/	1 мА - 200 А
Напряжение	✓	✓	✓
Диапазон показаний	1 В - 440 В	1 В - 440 В	1 В - 600 В
Регистрация напряжения	/	✓	/
Частота	/	✓	/
Диапазон показаний	/	45 - 65 Гц	/
Трассировка установки	✓	✓	/
Установка под напряжением	✓	✓	/
Установка без напряжения	✓	✓	/
Активная мощность	✓	/	/
Диапазон показаний	0 - 88 кВт	/	/
Реактивная мощность	✓	/	/
Диапазон показаний	0 - 88 кВт	/	/
Полная мощность	✓	/	/
Диапазон показаний	0 - 88 кВт	/	/
Энергия	✓	/	/
Диапазон показаний	0 - 1999 кВт час	/	/
Анализ искажений	✓	/	/
Диапазон показаний	вплоть до 21-й	/	/

Измерения в электроустановках в теории и на практике

Общее			
Связь по RS-232	✓	✓	✓
Память	✓	✓	✓
Дисплей	Графический ЖКИ 75 x 42 мм	ЖКИ 75 x 42 мм	ЖКИ 75 x 42 мм
Подсветка дисплея	✓	✓	✓
Звуковой предупредительный сигнал	✓	✓	✓
Автоматическое выключение	✓	✓	✓
PE- испытательный электрод	✓	/	/
Возможно обновление программного обеспечения по интернету	✓	/	/
Windows совместима с программным обеспечением	✓	✓	✓



Вопросы, советы, предложения, замечания.... об измерениях на электрических установках и об измерительном оборудовании, произведенном

**METREL d.d.
Ljubljanska 77
SI-1354 Horjul**

Телефон: +38 (057) 773 23 55, 717 03 46, 717 51 56

Факс: +38 (057) 7585 370

Электронная почта: vladimir@etalonpribor.com.ua

[http // www.etalonpribor.com.ua](http://www.etalonpribor.com.ua)